ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre
du progrès des sciences au service
du genre humain

VOLUME X Avril 1951 NUMÉRO 38

SOMMAIRE

Article de Tête: La querelle des anciens et des modernes en Grande-Bretagne .. 61

53.092:539.893
Quelques résultats en physique des hautes pressions — P. W. BRIDGMAN — 63

58.006 (425.7)
Le Jardin Botanique d'Oxford — T. G. B. OSBORN — 70

639.21.04:539.163.4
Le phosphore radioactif et les échanges de matières nutritives dans les lacs — F. R. HAYES et C. C. COFFIN — 78

069.02:5/6
Le Science Museum de Londres — F. SHERWOOD TAYLOR — 82

551.576.1:551.577.53
Physique des nuages et leurs précipitations — P. A. SHEPPARD — 89

576.8.097.3:582.29
Substances antibactériennes des lichens — FLORENCIO BUSTINZA — 95

591.82/.87
La perméabilité des tissus animaux — G. M. WYBURN et P. BACSICH — 100

547.914:581.135.53
Chimie des gommes et mucilages végétaux — E. L. HIRST — 106

049.3
Revue des livres 111

Notes biographiques sur les collaborateurs 114

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, 26 Dover Street, Londres, W.1

La querelle des anciens et des modernes en Grande-Bretagne

La Grande-Bretagne étant une île doit nécessairement en avoir les avantages et les désavantages: les 31 km d'eau de mer qui séparent Douvres de Calais ont depuis mille ans arrêté l'envahisseur; mais il semble qu'ils aient eu un fâcheux effet sur l'évolution de certaines idées.

L'insularité en soi n'étouffe pas l'inspiration, qui du reste n'a jamais fait défaut en Grande-Bretagne. Pourtant il peut germer chez des insulaires des singularités qui leur échappent complètement bien qu'elles sautent aux yeux de l'étranger.

Prenons par exemple les attaques sporadiques des humanistes contre les sciences: après une période d'accalmie l'animosité éclate de nouveau avec plus ou moins de virulence. Une recrudescence récente qui a eu dans la presse un écho prolongé a révélé une ignorance si flagrante de l'esprit scientifique qu'une réfutation s'impose.

Les sciences, selon les classiques, n'ont aucune valeur éducative: seules les humanités grecques et latines fournissent une base solide à la culture. Quelques classiques en prennent à leur aise avec la logique: tout homme cultivé sait le grec et le latin, *ergo* le grec et le latin sont indispensables à la culture. Telle est la pétition de principe qui se cache habituellement dans un bouquet d'arguties.

C'est à se demander si les classiques se rendent compte de la portée de leur thèse! Les astronomes de l'ancienne Egypte inventèrent le calendrier; Urukagine, Gudea et Hammurabi furent de grands législateurs; des poètes hindous avaient médité le Rig-Véda un millier d'années avant l'ère chrétienne, et pourtant il faudrait tenir ces personnages pour illettrés, car ils ne savaient ni grec ni latin. La thèse prise à la lettre ne tient pas debout. Elle serait peut-être défendable à certains points de vue: mais voyons d'abord pourquoi tant de classiques en Grande-Bretagne se montrent si intransigeants à l'égard de la science.

Cette attitude ne remonte pas bien loin et s'épanouit surtout au XIXe siècle. Aux yeux d'un Newton toute opposition entre les disciplines classique et scientifique n'auraient eu aucun sens. Mais nous voyons chez J. Priestley les signes avant-coureurs du schisme, quand il écrit: «Souvenez-vous que le goût pour la science, tout agréable et même honorable qu'il puisse être, ne compte pas parmi nos passions élevées et les plaisirs qu'il procure diffèrent de bien peu de ceux des sens: il faut donc s'y adonner avec modération». Le savant Docteur D. Hartley va plus loin: «Les professeurs de sciences réputés sont d'une vanité, d'une arrogance, d'une jalousie à nulles autres pareilles . . . la modération s'impose donc dans ce genre d'études».

La révolution industrielle vint renforcer le préjugé naissant: la science se confond avec le commerce, et bien que l'Angleterre victorienne en apprécie les avantages matériels, elle établit une distinction stricte entre commerçants et «gentlemen». Les enfants de ceux-ci fréquentent les grandes écoles dites «publiques», où l'enseignement est presque entièrement classique. Les sciences ne figurent aux programmes que dans la deuxième moitié du siècle et ne s'y installent définitivement qu'assez tard.

Ce dédain pour les sciences s'alimente d'autres sources, notamment la réprobation des gens pieux pour «*Les origines des espèces*» et «*L'ascendance de l'homme*» de Darwin. Nombre d'Anglais très honorables pensent que les sciences, si elles battent en brèche les croyances fondamentales, doivent être frappées d'interdit, et ce sentiment se répand. L'on se montre aussi étrangement incrédule quant à la valeur pratique des découvertes scientifiques.

C'est en tenant compte de cette ambiance qu'il faut juger les dénigrements des classiques à l'égard de la science. Personne ne songe à nier la valeur éducative du latin et du grec, étant donné que la culture classique constitue le plus clair de notre patrimoine intellectuel, que notre manière de penser nous vient d'Athènes et notre système administratif de Rome. Toutefois, depuis l'époque où Aristote, à la suite d'Alexandre, parcourait un monde conquis, et celle où Horace vivait heureux dans sa ferme de la Sabine, les connaissances humaines ont fait d'immenses progrès. Qui peut affirmer que chez Platon, Sophocle, Ovide et Virgile, le XXe siècle trouvera toute sa nourriture intellectuelle? Tout homme cultivé devrait prendre pour devise le mot de Bacon à Lord Burghley: «Aucune connaissance ne doit m'être étrangère». De même que les savants qui ignorent les classiques, les classiques qui ne savent rien des sciences sont imparfaitement cultivés: ni l'un ni l'autre ne devrait se contenter de son domaine de prédilection, s'il veut acquérir un harmonieux équilibre

intellectuel. «Etant donné», dit finement A. J. Balfour, «que l'enthousiasme mène le monde, c'est dommage que ceux qui en sont animés soient incapables de dire la vérité». La remarque s'applique aux classiques qui prônent les humanités aussi bien qu'aux savants qui prônent les sciences.

Il a été du reste constaté que les savants britanniques les plus marquants ont étudié et goûté les auteurs classiques sans que leurs progrès en sciences en aient été contrariés. En fait, c'est leur formation scientifique qui leur ont souvent ouvert les yeux sur les trésors de la culture gréco-latine. Il est donc permis d'espérer que les humanistes arriveront à reconnaître que le domaine de la science possède des trésors d'égale valeur sous d'autres apparences. Dans la joie que procure à Faraday une expérience réussie, à Rutherford la description de l'atome, et à Kelvin l'aboutissement d'un lumineux raisonnement, on retrouve l'extase poétique de Keats, l'élégance raffinée de Botticelli. Il y a une réponse à la question: en quoi consiste une éducation libérale? La voici:

«L'homme dont le corps, du fait de son éducation, est assujetti à sa volonté et exécute avec aisance tout ce dont il est capable en tant que machine; qui possède une intelligence semblable à un moteur parfaitement réglé dont tous les organes ont le même degré de solidité, prêt à accomplir n'importe quel travail, du plus fin au plus grossier; dont la mémoire est riche des grandes vérités de la nature et des lois qui régissent ses opérations; qui, loin d'être un ascète émacié, est plein de vie et de feu, mais dont la forte volonté tient en laisse les passions, tout en étant à son tour la servante d'une conscience délicate; qui enfin a appris à aimer toute beauté naturelle ou artistique et à détester toute bassesse, et à respecter autrui autant que soi-même: celui-là seul, selon moi, peut se réclamer d'une éducation libérale, car il se trouve, autant qu'un homme puisse l'être, en harmonie avec la nature: il tire d'elle le meilleur parti, et elle de lui: ils s'entendront merveilleusement, elle comme une mère bienfaisante, lui comme son interprète et sa vivante image».

Nous venons d'entendre Thomas Huxley, penseur et savant éminent de l'Angleterre victorienne. Qui pourrait faire mieux, de tous ceux qui ont tenté de définir une éducation libérale?

Chacun devrait comme Bacon faire siens tous les domaines de la connaissance sans exalter l'un aux dépens de l'autre. Les savants bien mieux que leurs adversaires se rendent compte de leurs lacunes, et plus d'un professeur de sciences en interrogeant des candidats a souvent constaté avec regret leur manque de culture générale. On peut évidemment mettre en avant qu'à notre époque scientifique l'ignorance n'est pas moins à déplorer en sciences qu'en lettres, mais il semble que les défenseurs des classiques luttent pour la sauvegarde d'un trésor qu'ils savent inestimable et dont ils redoutent l'effritement. Il s'ensuit que les humanistes britanniques donnent parfois à l'étranger une impression erronée des rapports entre l'érudition et les sciences britanniques; mais il ne faut pas prendre trop au sérieux ces poussées de critiques mutuelles: il ne faut y voir qu'un effet d'insularité.

Quelques résultats en physique des hautes pressions

P. W. BRIDGMAN

Description d'appareils et de méthodes permettant de produire des pressions atteignant 100 000 atmosphères. Par les méthodes «de contact» on a atteint 400 000 atmosphères. Il est ensuite question des effets de pression sur les substances: changements de volume réversibles, modifications allotropiques au passage d'une phase à une autre, et discontinuités dans le comportement de la glace, du bismuth, de l'antimoine et du gallium. Un diagramme montre les changements de volume par rapport à des pressions allant jusqu'à 10^5 kg/cm^2.

L'objet du présent article est de décrire quelques-uns des phénomènes physiques observés sur différents matériaux soumis à des pressions élevées. On considère généralement comme négligeables les effets de la pression sur les propriétés de la matière solide; ce qui est légitime, dans la vie courante, parce que l'on n'en peut obtenir facilement des variations appréciables, par rapport aux grandeurs moléculaires. Sous des pressions assez fortes par rapport aux molécules on peut provoquer des transformations radicales; par exemple, l'application de la seule pression peut, non seulement transformer l'eau en glace, mais encore produire six ou sept différentes variétés de glace. Les pressions assez fortes pour affecter les molécules sont de l'ordre de plusieurs milliers d'atmosphères. C'est d'elles que nous nous occuperons.

Pour fixer les idées, remarquons que 1000 atmosphères (en gros 1000 kg/cm^2) représentent à peu près la pression à la plus grande profondeur océanique. 2000 atmosphères représentent celle de la chambre d'explosion d'un gros canon. Du point de vue cosmique, il est de première importance de connaître l'effet de pressions de cet ordre, car sauf une petite fraction d'un centième, toute la matière terrestre ou stellaire, se trouve sous des pressions supérieures à mille atmosphères.

L'extension des procédés de mesure à ce domaine pose divers problèmes techniques: Il faut d'abord empêcher les fuites du liquide transmetteur de la pression. On réalise pour cela le garnissage de façon qu'il soit appliqué automatiquement par une pression qui dépasse d'un pourcentage déterminé la pression au sein du liquide. On comprendra aisément ce principe grâce à la figure 1 qui montre le garnissage, à l'extrémité d'un piston transmetteur de pression. Ainsi construit, il ne peut fuir, si bien qu'il suffit, pour obtenir une pression arbitraire, de pousser le piston dans le récipient avec la force voulue. C'est une presse hydraulique ou tout autre système de multiplicateur hydraulique qui donne le meilleur rendement.

L'expression «pression arbitraire» doit cependant être l'objet de plusieurs restrictions, notamment celles provenant de la résistance du récipient et du piston. On pourrait penser que la résistance du récipient pourrait s'accroître indéfiniment, en augmentant indéfiniment l'épaisseur des parois. Il n'en est rien, car même un récipient d'épaisseur illimitée n'a qu'une résistance finie. La raison en est que l'effort et la tension sont localisés sur la paroi intérieure, si bien que l'extérieur ne participe pas proportionnellement à la résistance. Pratiquement, il s'avère que la limite pour des cylindres lourds du meilleur acier traité thermiquement est d'environ 15 000 atmosphères; on peut aller, dans des opérations de courte durée, jusqu'à 20 000 ou plus. On peut peut-être réaliser des pressions encore plus élevées en frettant le récipient, mais même là, l'ultime limite de 30 000 atmosphères environ n'a pas encore été dépassée.

En même temps que le récipient, le piston atteint aussi sa limite, car la limite supérieure de la résistance à la compression des aciers actuels est d'environ 30 000 atmosphères.

Si l'on veut obtenir des pressions encore plus fortes, il est nécessaire de modifier complètement la conception de l'appareil: En ce qui concerne le piston, il suffit de le construire en une substance différente: le Carboloy dont la résistance à la compression est plus que double de celle des meilleurs aciers. Le Carboloy est un produit de la métallurgie des poudres. C'est un agrégat fritté de carbure de tungstène aggloméré à l'aide d'une petite quantité de cobalt. Pour augmenter la résistance des récipients, les méthodes sont moins simples. Dans toutes nos expériences, nous

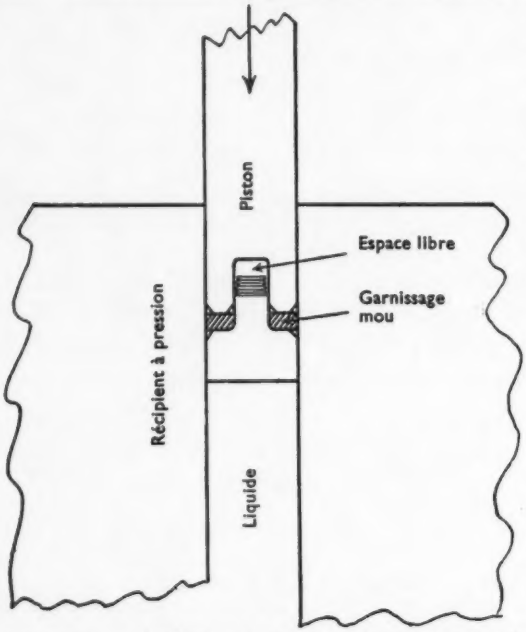


FIGURE 1 – *Application à un piston du principe d'après lequel la pression dans le garnissage se maintient automatiquement supérieure d'un pourcentage donné à celle du liquide. D'où impossibilité de fuites.*

donnions au récipient un support extérieur pour contrebalancer l'effet de la pression intérieure. La meilleure manière est de donner une forme conique à sa surface externe et de pousser l'ensemble dans un manchon de soutien conique à mesure que s'accroît la pression interne. Il y a plusieurs façons de pousser le récipient dans son manchon. La plus simple est d'utiliser la poussée qui enfonce le piston pour enfoncer du même coup le récipient dans son manchon: c'est la méthode illustrée dans la figure 2.

Le récipient peut aussi être enfoncé dans son manchon par une autre presse hydraulique fonctionnant en relation dans le rapport voulu avec la presse qui produit la pression à l'intérieur.

La pression-limite atteinte jusqu'ici en laboratoire dans des appareils à support conique externe est de 50 000 atmosphères.

Pour atteindre des pressions encore plus élevées, il faut fournir au récipient un soutien encore plus efficace. On peut immerger le récipient dans un liquide lui-même soumis à une pression hydrostatique élevée. De cette manière le récipient est comprimé sur la totalité de sa surface externe. Ce procédé est efficace au point d'étendre l'échelle de 50 000 à 100 000 atmosphères. La pression externe de soutien nécessaire à cette augmentation est de 25 000 à 30 000 atmosphères.

Pareille extension de l'échelle serait impossible sans le changement dans les propriétés de l'acier et du Carboloy qui apparaît sous une pression de 25 000 atmosphères. L'acier devient bien plus ductile et en même temps plus résistant. Le Carboloy devient plus résistant à la compression, si bien que l'on peut soumettre les pistons de Carboloy à des pressions de 100 000 atmosphères et même plus. Le Carboloy s'améliore aussi en résistance à la rupture, de sorte qu'on peut en construire le récipient à pression, lui-même soutenu extérieurement par une enveloppe d'acier ajustée par contraction. Le schéma de l'appareil est indiqué sur la figure 3.

Il peut sembler paradoxal qu'à ces pressions très élevées, on ne parle plus du problème limitatif des premières expériences, à savoir éviter les fuites du milieu transmetteur de pression. La raison en est qu'à de telles pressions il n'existe plus de fluides; tous les liquides ou gaz normaux sont solidifiés par la pression. Tous les éléments gazeux dans les conditions ordinaires, excepté l'hélium, sont solidifiés à 50 000 atmosphères et l'on est fondé à croire que sous 100 000 atmosphères l'hélium aussi devient solide. Dans ce domaine, c'est seulement par des solides mous que se transmettent les pressions, qui ne sont donc qu'approximativement hydrostatiques. Il existe heureusement des solides mous, tels que l'étain ou, de préférence, l'indium, dont la résistance à l'effort tranchant est faible.

La rançon de chaque nouvel accroissement de pression est une réduction des dimensions de l'appareil; et celles-ci à leur tour limitent le champ

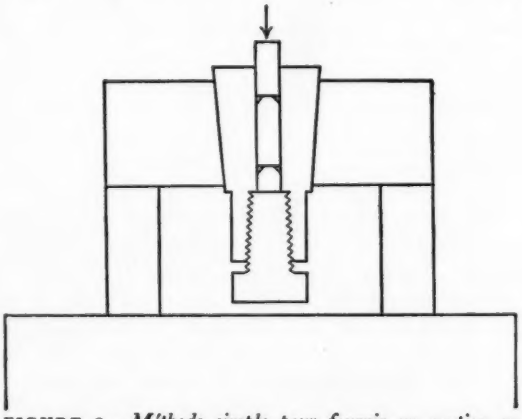


FIGURE 2 – *Méthode simple pour fournir un soutien extérieur à un récipient à pression en utilisant la poussée sur le piston qui produit la pression interne, pour projeter l'ensemble dans une manche conique de soutien.*

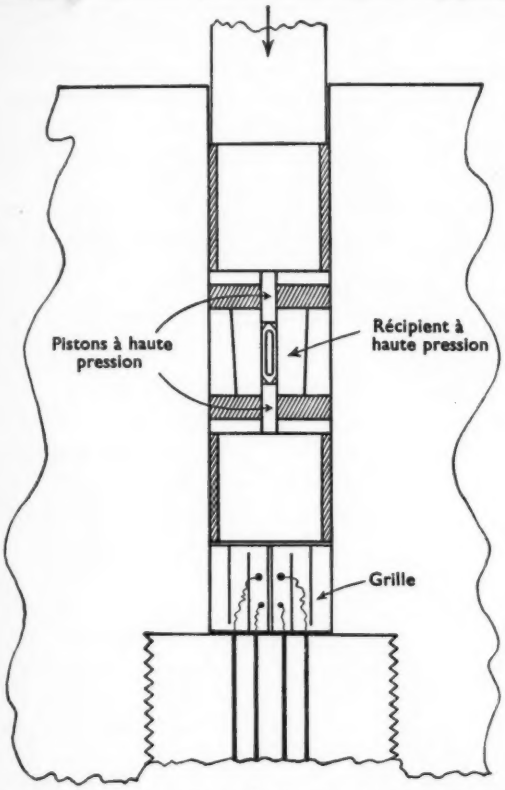


FIGURE 3 – *Diagramme de l'appareil grâce auquel on peut atteindre des pressions de* 100 000 *atmosphères; le récipient à hautes pressions est totalement immergé dans un liquide (ombré) lui-même soumis à la pression. La poussée sur les pistons de hautes pressions se mesure en mesurant le changement de résistance électrique de la grille qui reçoit la poussée.*

des expériences possibles. Le récipient où l'on produit une pression de 100 000 atmosphères a intérieurement seulement 1,5 mm de diamètre et 4,8 mm environ de longueur. Dans cet appareil, on peut mesurer les changements de volume avec assez de précision; on a déterminé ceux d'un grand nombre de substances. On peut atteindre des pressions encore plus grandes, mais à si petite échelle que l'on a effectué peu de recherches qui aient une valeur scientifique. La méthode suivie pour atteindre ces pressions encore plus fortes est celle que l'on utilise pour faire des mesures de dureté, en enfonçant la bille de Brinell ou un cône de diamant dans la substance étudiée. De petites surfaces peuvent supporter des efforts bien plus élevés que les efforts normaux si la substance environnante reste libre, de sorte qu'elle soutient la région sous pression. Voici un dispositif de ce genre: un cône de Carboloy court est comprimé contre un bloc plat de Carboloy, l'ensemble du système se trouvant monté à l'intérieur d'une chambre à 30 000 atmosphères qui fournit un soutien supplémentaire par pression hydrostatique; on a obtenu un surplus de pression de 400 000 atmosphères au point de contact du cône. On ne peut cependant faire grand'chose de ces pressions très élevées, si ce n'est aboutir à ce résultat négatif de démontrer que certaines transformations auxquelles on aurait pu s'attendre, ne se produisent pas en réalité. En particulier, sous une telle pression, à température ambiante, le graphite ne se transforme pas en diamant bien que celui-ci soit la forme thermodynamiquement stable.

Jusqu'à présent, il n'a été question que de pressions statiques. Dynamiquement, dans l'explosion de charges de forme déterminée par exemple, on peut atteindre des pressions beaucoup plus fortes qui se mesurent par millions d'atmosphères. C'est sans nul doute l'ultime moyen d'obtenir les hautes pressions (en dehors des bombes atomiques), et l'on entreprend maintenant cette étude. Mais les difficultés, sans parler des frais, sont énormes et l'on ne progressera que lentement. La mesure des pressions et des températures atteintes dans ces procédés est elle-même un problème inextricable et pour l'instant le seul moyen semble être d'extrapoler les résultats obtenus dans des domaines inférieurs par les méthodes statiques. Il est donc probable que les résultats obtenus grâce aux méthodes statiques décrites ci-dessus garderont leur utilité encore longtemps.

Après avoir envisagé les différentes méthodes permettant d'atteindre les hautes pressions, considérons quelques-uns des effets produits. Le plus simple de tous, bien qu'il ne soit certainement pas le plus simple à mesurer, est la contraction que subissent toutes les substances sous l'effet de la pression. Un caractère général de ces changements de volume sous pression est leur réversibilité; le volume reprend sa valeur initiale lorsque la pression cesse. En d'autres termes, il n'y a pas de limite d'élasticité ou de point de rupture. C'est là une différence frappante avec ce qui se passe lorsque la déformation est produite par l'application de forces puissantes autres que la pression. Des exceptions apparentes s'expliquent par la fermeture de fissures dans la substance. Il y a d'autres exceptions apparentes dues au passage à une phase de stabilité thermodynamique supérieure. Pourtant, dans ces cas-là, le nouvel état créé ne subit pas de changement permanent sous l'effet d'une pression accrue. La raison en est dans la constitution atomique de la matière. Le

volume spécifique d'une substance ne dépend que de la nature des atomes (ou molécules) dont il se compose; en laissant de côté les isotopes, il n'y a par exemple qu'une sorte d'atome de fer, et non une avant et une après compression. Aussi peut-on supposer que si l'on pouvait appliquer des pressions assez fortes pour changer les atomes eux-mêmes, on pourrait obtenir des changements permanents; c'est probablement ce qui se passe sous les pressions atteintes dans les astres. Cependant, d'ordinaire, la transmutation atomique n'est pas amenée par la seule pression et nous avons par conséquent une parfaite élasticité de volume.

Dans le domaine des pressions terrestres où les atomes restent intacts, il y a au moins trois catégories d'effets à considérer.

Il y a d'abord l'échelle des gaz. Ici les compressibilités sont très grandes; le volume étant à peu près inversement proportionnel à la pression. Le mécanisme est cinétique, la pression s'exerçant par collision des molécules contre les parois du récipient. La pression est double pour un volume moitié car il y a à peu près deux fois plus de collisions par unité de surface des parois. Mais cet effet ne peut persister lorsqu'on atteint des pressions très élevées parce qu'à un certain moment, les atomes ou les molécules, pressés trop fort les uns contre les autres, finissent par interférer. Lorsque cela se produit, on observe un effet nouveau. L'accroissement de la pression resserre les molécules de plus en plus les unes contre les autres jusqu'à ce que tous les espaces libres qui les séparent soient supprimés. C'est ce qui se passe dans la compression des liquides dans les conditions ordinaires, ou celle des gaz sous des pressions si élevées que leur densité se rapproche de celle des liquides. Cet effet se caractérise par la chute rapide de la compressibilité à mesure que le volume décroît; en effet, au début, il est relativement facile de réduire les espaces libres, mais lorsque les molécules sont presque totalement en contact, cette possibilité diminue considérablement. C'est alors que paraît le troisième effet, à savoir la déformation des atomes (ou molécules) eux-mêmes, lorsqu'ils ont été amenés effectivement en contact. C'est là la première chose à considérer dans la compression des solides.

Aux premiers jours de la théorie atomique, on considérait l'atome comme un petit morceau de substance rigide, si bien qu'un solide aurait dû être presque incompressible. L'expérience montre que cela est loin de la vérité. Les théories modernes sur la structure de l'atome comme système électron-noyau, qui conçoivent l'atome comme composé presque exclusivement d'espaces vides où règne un champ de forces intense, rendent explicable un degré élevé de malléabilité dans l'atome lui-même soumis à la pression. D'après cette définition, les atomes à structure électronique très compliquée devraient être plus compressibles que ceux dont les structures sont plus simples. C'est exactement ce que l'on vérifie. Ainsi, dans la région où commence l'interaction entre les molécules et où les lois des gaz parfaits ne sont plus valables, l'azote perd sa compressibilité bien plus rapidement que l'hélium parce que les molécules d'azote sont plus grandes et beaucoup plus vite amenées en contact. Mais sous des pressions encore plus fortes, lorsque les espaces intermoléculaires ont été remplis, l'azote devient plus compressible que l'hélium parce que la molécule d'azote est plus grande et plus complexe que celle d'hélium et par suite peut subir un plus fort degré de compression.

Il est bien entendu qu'il n'y a pas de ligne de démarcation nette entre ces trois mécanismes de la contraction; à chaque instant les 3 mécanismes coexistent. C'est leur importance relative qui change à mesure que s'accroît la pression. On a déjà suggéré qu'à des pressions encore plus élevées, ce sont les atomes eux-mêmes qui rompent. Vu la complexité de sa structure, il est concevable qu'un atome puisse se briser de plusieurs façons. Il est tout-à-fait possible que ce qui se passe ne soit en rien aussi catastrophique et irréversible que le changement que nous associons d'habitude à l'idée de rupture; il se peut que ce ne soit qu'une redistribution des électrons dans leurs orbites et il n'y a aucune raison pour que celle-ci ne soit pas réversible. A des pressions supérieures à celles réalisées jusqu'ici au laboratoire, s'élevant, mettons, à plusieurs millions d'atmosphères, on peut s'attendre à toutes sortes de changements de détail de ce genre. Au laboratoire, on a déjà trouvé deux exemples d'une transposition interne, attribuables à la pression. L'élément cæsium, le plus compressible des métaux, subit à 45 000 atmosphères un brusque changement de volume. Ce changement est énorme, 17 %, et il ne semble pas pouvoir s'expliquer par un changement de structure réticulaire du métal, car déjà avant 45 000 atmosphères on se trouve dans le système cubique à faces centrées où les atomes sont jointifs.

La contraction semble donc s'expliquer par une transposition des orbites électroniques des atomes sous l'effet de la pression. Sternheimer en a fait récemment une étude détaillée. Il démontre qu'une transition électronique d'une sous-couche

6*s* à une sous-couche 5*d* rend exactement compte de tous les faits d'expérience. C'est un cas semblable, sans nul doute, que celui du cérium métallique; il révèle un changement subit de volume à 17 000 atmosphères, du même ordre de grandeur que celui du cæsium. Dans le cas du cérium, on a démontré par des expériences ingénieuses à l'Université de Chicago, qu'avant, comme après la discontinuité, on a le même assemblage réticulaire jointif, à face centrée.

La figure 4 montre les changements de volume de quelques-uns des éléments solides ordinaires en fonction de la pression jusqu'à 100 000 atmosphères. Il y a de grandes différences de compressibilité. L'élément le plus compressible que montre le diagramme est le cæsium qui, à 100 000 atmosphères, n'occupe plus que 37 % de son volume initial. La substance la moins compressible est sans doute le carbone sous forme de diamant, qui sous la même pression n'est amené qu'à 98,2 % de son volume initial. Le diagramme indique que pour la plupart des substances, la contraction est loin d'être une fonction linéaire de la pression; les courbes sont fortement incurvées et indiquent que la compressibilité tombe à mesure que s'élève la pression. Nous avons remarqué la même chose pour les liquides. Ici l'échelle est différente et beaucoup plus étendue. Cela signifie sans doute qu'à l'intérieur de l'atome, il y a une sorte d'interaction réciproque des orbites électroniques, analogue à l'interaction qui se produit pour les liquides entre atomes ou molécules. Il est évident que la relation entre les volumes et les pressions ne peut être linéaire sans quoi les volumes finiraient par devenir négatifs pour une pression suffisamment élevée.

Bien que chaque courbe volume-pression doive, tôt ou tard, tourner sa convexité vers l'axe des pressions, il se peut qu'elle s'incurve en sens opposé. Il n'y a aucune raison mécanique ou thermodynamique pour que la compressibilité n'augmente pas, dans certains cas, parallèlement à la pression. En fait, il en existe des exemples; le plus frappant est sans doute celui du verre de quartz. Sa compressibilité augmente avec la pression pendant longtemps. Ce comportement ne peut cependant pas se prolonger indéfiniment et un renversement doit se produire tôt ou tard. L'expérience montre qu'il se produit à la pression de 35 000 atmosphères, alors que le volume est encore bien au-dessus de zéro, en fait 89,3 % de sa valeur initiale. Au-dessus de 35 000, la compressibilité décroît avec l'élévation de pression. L'anomalie cesse d'une manière si brusque à 35 000 que la courbe présente un point de rebroussement. Cela se passe comme s'il y avait un mécanisme particulier, cause de l'anomalie, qui brusquement cesse d'agir à 35 000 atmosphères. On peut supposer dans la structure, l'existence de cavités lenticulaires qui s'aplatissent à 35 000 atmosphères.

Les courbes pressions-volumes de la figure 4 contiennent plusieurs exemples de discontinuité. Elles proviennent de transitions de différentes sortes. Dans la plupart des cas, ce sont des transformations allotropiques résultant d'une transformation du réseau cristallin. La démonstration en est généralement indirecte et hypothétique, mais quelquefois on peut en fournir la preuve directe. L'une des méthodes est l'analyse aux rayons X de la nouvelle phase, tandis qu'elle est sous pression. Une autre consiste à suivre le passage à la pression atmosphérique par des changements convenables de température, ensuite d'établir la nature de la transformation à pression atmosphérique par une méthode appropriée non soumise aux limitations des mesures sous haute pression.

La figure 4 révèle que dans quelques cas une substance peut présenter plus d'une discontinuité. L'une des plus intéressantes de ces substances est le bismuth. A pression atmosphérique, le bismuth a plusieurs anomalies — en particulier c'est l'une des rares substances qui, comme l'eau, se dilate en se congelant. Les lois thermodynamiques exigent que pour ces substances, l'effet de la pression soit d'abaisser le point de fusion. Cet effet fut découvert pour l'eau assez tôt; l'accord entre la détermination expérimentale et le calcul théorique de l'abaissement du point de fusion fut en fait l'un des premiers triomphes de cette science alors récente. Bien après, j'ai trouvé que le point de fusion du bismuth est également abaissé par l'application de la pression, comme on pouvait s'y attendre. A quel ultime tracé doit-on s'attendre pour la courbe de congélation de l'eau, tandis que la pression s'accroît indéfiniment ? Dans le cas de l'eau, on a découvert expérimentalement que l'augmentation de la pression accentue d'abord l'effet, car à mesure que monte la pression, l'accroissement anormal du volume dû à la congélation devient plus grand et par suite le point de fusion décroît à une allure toujours plus rapide. On pouvait s'attendre à ce que ceci ne continue pas indéfiniment. C'est ce qui se passe. Ce fut Tammann qui, le premier, découvrit comment l'eau se libère de ce dilemme. A — 22° et 2200 atmosphères, la glace ordinaire disparaît pour

être remplacée par une nouvelle sorte de glace, avec une très forte réduction de volume. De fait, cette réduction est si forte que le nouveau solide a un volume inférieur à celui du liquide dont il provient. Ce qui signifie que le point de fusion de cette nouvelle catégorie de glace monte à mesure que s'élève la pression. Ce n'est pas tout. Si la pression continue à s'élever, la nouvelle glace découverte par Tammann finit à son tour par devenir instable et est remplacée par d'autres de volumes encore plus réduits et de points de fusion s'élevant encore plus vite. En tout, l'on a, jusqu'ici, découvert sept sortes de glaces. La dernière en date peut être chauffée à la température de la soudure fondante, à condition d'appliquer une pression de 45 000 atmosphères pour l'empêcher de fondre.

On s'attendait par analogie à ce qu'une nouvelle forme de bismuth apparaisse sous de hautes pressions, pour remplacer le bismuth ordinaire anormal, et à ce que le point de fusion du nouveau bismuth s'élève avec la pression. Des chercheurs spécialistes du domaine des hautes pressions recherchèrent activement ce bismuth hypothétique, mais longtemps sans succès. Quand on trouva enfin cette nouvelle forme, ce fut à une pression beaucoup plus élevée qu'on ne s'y était attendu, à savoir 25 000 atmosphères, plus de 10 fois la pression qui produit une transformation analogue dans la glace. De plus, il y a encore d'autres transformations du bismuth, à des pressions encore plus élevées, comme pour la glace. On voit sur la figure 4 les transformations à 45 000, 65 000 et 90 000 atmosphères, outre celle déjà mentionnée à 25 000 atmosphères. En réalité, cette dernière est double; il y a deux transitions si rapprochées, à mille atmosphères l'une de l'autre, qu'il serait difficile de les distinguer sur le diagramme. Ainsi, il existe en tout 5 transformations du bismuth, ou six modifications allotropiques de ce solide. C'est le même nombre que celui des modifications stables de la glace, si bien que les deux substances sembleraient très étroitement parallèles.

Il existe deux autres éléments assez connus qui, comme le bismuth, présentent l'anomalie de se dilater lorsqu'ils se congèlent. Ce sont l'antimoine et le gallium. La même question se pose à leur sujet; subiront-ils aussi d'autres modifications sous l'effet de la pression, et la courbe du point de fusion de la nouvelle forme va-t-elle croître au lieu de décroître? L'antimoine présente beaucoup de points communs avec le bismuth; ils ont d'étroites ressemblances chimiques et appartiennent au même système cristallin. On voit sur la figure 4

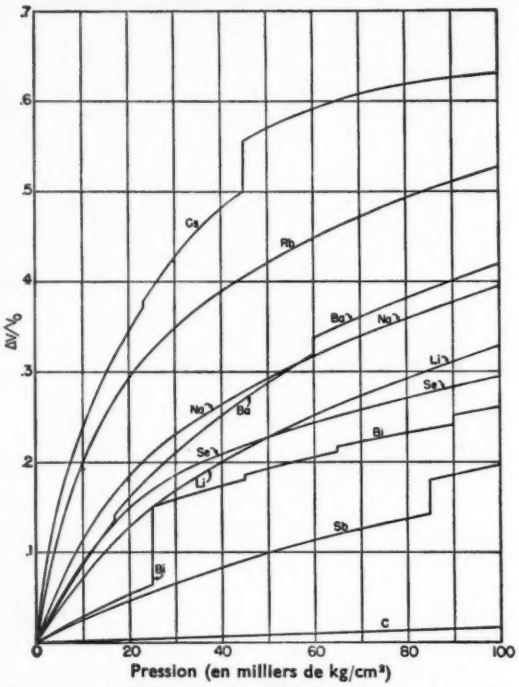


FIGURE 4 – *Illustration des changements de volume d'un certain nombre de substances en fonction de la pression jusqu'à* 100 000 *kg/cm²*.

que l'antimoine subit une transformation sous pression, mais une pression plus de trois fois supérieure à celle du bismuth: 85 000 au lieu de 25 000 atmosphères. Il se pourrait donc bien que leurs comportements allotropiques soient analogues, mais il faut attendre pour le prouver, de pouvoir obtenir au laboratoire de plus hautes pressions, car il semblerait que l'échelle de pression des phénomènes chez l'antimoine soit plus de trois fois supérieure à celle du bismuth. Le point de fusion de l'antimoine est aussi bien au-dessus de celui du bismuth, si bien qu'on n'a encore pu vérifier expérimentalement si le point de fusion de la nouvelle forme s'élève sous pression.

L'autre élément anormal, le gallium, rentre aussi dans cette catégorie et pour lui heureusement l'échelle des pressions est plus réduite. Un nouveau gallium apparaît vers 12 000 atmosphères, dont le point de fusion monte avec la pression. Il y a un autre élément de parallélisme avec l'eau: une nouvelle forme produite sous pression, thermodynamiquement tout-à-fait instable en regard des autres formes; de même, il apparaît une forme de glace très instable à des températures inférieures à 0° et des pressions supérieures à 4000 atmosphères.

Il semblerait donc, en ce qui concerne ces trois substances: eau, bismuth et gallium, que la pression fait en fin de compte disparaître les formes ordinaires anormales qui deviennent normales au moins en ceci que leur point de fusion monte avec la pression.

On voit sur la figure 4, un autre exemple de polymorphisme sous pression élevée; le baryum présente deux transformations et 3 formes allotropiques. En effet, le polymorphisme se rencontre fréquemment dans les recherches sur les hautes pressions. J'ai examiné plusieurs centaines de substances dont environ un tiers présente des transformations allotropiques. On a examiné les diagrammes de phase de la plupart de ces substances et on peut montrer comment la pression pour laquelle une transition survient, change avec la température. Ces diagrammes nous apprennent que les formes qui se produisent sous pression sont tout-à-fait nouvelles en ce sens qu'elles n'existent à aucune température sous pression atmosphérique. Bien plus, le phénomène ne semble pas avoir tendance à s'épuiser à mesure que l'on élève l'ordre de grandeur des pressions. En termes de statistique, la probabilité pour la pression de produire une nouvelle forme allotropique d'une substance inconnue, est proportionnelle à la pression.

Ceci a une signification géophysique évidente; à savoir que selon toute probabilité, les matériaux qui forment la croûte terrestre y existent sous des formes inconnues au laboratoire, et qu'ils ont, par suite, des propriétés physiques qui nous sont inconnues. Par conséquent, il est téméraire de déduire la composition de la croûte terrestre de telle ou telle étude de ses propriétés, par exemple de la vitesse de propagation des ondes sismiques. On ne peut acquérir de certitude pour ce genre de déduction, que par une connaissance spécifique et détaillée. Une méthode consisterait à reproduire en laboratoire les conditions de température et de pression de la croûte terrestre, et de déterminer les propriétés réelles observables de la matière dans ces conditions. Ou bien, il faudrait que les connaissances théoriques dans le domaine des transformations allotropiques soient suffisament développées pour nous permettre de prévoir, par le calcul, si telle ou telle substance subira une transition et quel genre de transition. Nous sommes encore loin d'y arriver. Il existe, en effet, un ou deux cas seulement où l'on a pu prévoir théoriquement une transformation allotropique. Même lorsque l'on connaît l'existence d'une de ces transformations, il est rare que l'on ait réussi à calculer ses propriétés. La raison en est que le calcul des conditions d'une transformation allotropique est chose extrêmement délicate, car il dépend de petites différences entre de très grandes énergies.

Les transformations en question jusqu'ici sont caractérisées par la réversibilité thermodynamique; quand la pression est supprimée, la substance retourne à sa condition initiale, à moins d'en être empêchée à température relativement basse par une viscosité interne. Il existe peu d'exemples connus de transformations essentiellement irréversibles produites par la pression. Dans ce cas, la pression transforme la substance en une forme nouvelle; celle-ci est permanente et thermodynamiquement stable quand la pression cesse. On connaît depuis longtemps la transformation du phosphore jaune en phosphore noir à 12 000 atmosphères et 200°. Elle peut s'opérer à température ambiante sous 30 000 ou 40 000 atmosphères. A pression encore plus élevée, environ 60 000 atmosphères, la forme plus stable rouge ou violette se transforme en cette même catégorie noire. Le sulfure de carbone en est un autre exemple. Cette substance, d'habitude un liquide très volatil, se transforme lentement à 175° et 40 000 atmosphères en un solide noir permanent plus dense que les éléments de départ.

La théorie de ces transitions irréversibles est encore moins avancée que celle des transitions polymorphiques réversibles, et même, à ma connaissance, il n'existe pas d'exemple que l'on ait pu traiter théoriquement. Avant d'avoir un fondement théorique quelconque pour nos prévisions, il nous faut imaginer la possibilité pour les matériaux de la vie quotidienne d'atteindre, sous l'effet de pressions suffisantes, un point où ils se transformeraient en substances complètement inconnues possédant des propriétés nouvelles et peut-être désirables. Il semblerait qu'il y ait là des ressources palpitantes d'intérêt que devraient exploiter les auteurs de romans pseudo-scientifiques.

Le Jardin Botanique d'Oxford

T. G. B. OSBORN

L'auteur fait l'historique des jardins fondés par Lord Danby en 1621: il en décrit le plan primitif et la disposition actuelle, ainsi que les plantes les plus remarquables, en se référant à de nombreuses illustrations.

La fondation du Jardin Botanique d'Oxford remonte à 1621, l'année où Lord Danvers, le futur comte de Danby, «désirant passer au rang des bienfaiteurs de l'Université, pensa employer utilement sa fortune à . . . fonder un Jardin des Plantes». Il y avait déjà plusieurs de ces jardins en Europe mais aucun en Grande-Bretagne. Le Jardin d'Oxford est donc le plus ancien des Iles Britanniques et son intérêt historique est encore accru du fait qu'il occupe toujours son emplacement original avec les murs mêmes et les magnifiques portails dus à la largesse de son fondateur. Le site choisi par lui était un pré au bord de la rivière, d'une superficie de deux hectares environ et situé face à Magdalen College à proximité de la Porte Est de la ville. Le pré avait été utilisé par les Juifs d'Oxford comme cimetière jusqu'à leur expulsion en 1290 et le collège en hérita à sa fondation en 1458. En 1621, il était occupé par un tenancier mais Lord Danby fournit les fonds nécessaires pour racheter le bail et le transférer à l'Université qui depuis en a été locataire.

L'après-midi de la Saint-Jacques 1621 (le 25 juillet) eut lieu une cérémonie d'inauguration marquée par plusieurs discours et la pose d'une première pierre. Le véritable travail d'établissement du Jardin commença peu après. Il fallut dix ans au moins pour construire l'«imposant mur en pierres de taille». Le portail principal, œuvre de Nicholas Stone porte le millésime 1632. Tout aussi important que le travail de clôture du jardin doit avoir été celui de surélever le sol au-dessus du niveau de débordement de la rivière Cherwell à l'est. Même de nos jours aux périodes de crues exceptionnelles de grandes flaques d'eau s'infiltrent sous les murs tandis que certaines portions du terrain à l'extérieur sont recouvertes d'au moins 30 cm d'eau.

Les murs dessinent un rectangle de 122 et 107 m de côté respectivement et d'une superficie d'un hectare et demi à peu près. La disposition première du terrain, comme le montre le plan de Loggan (1675) semble avoir été une division en quatre parties égales par des haies, où les plates-bandes étaient arrangées symétriquement (figure 9). Le premier catalogue publié en 1648 nous apprend que plus de 1600 espèces différentes de plantes y étaient cultivées. Plus de 600 d'entre elles étaient britanniques ou canadiennes mais beaucoup d'autres étaient de simples variétés. Néanmoins la réunion d'une telle collection en moins de dix ans représente un gros travail.

Il semble que Lord Danby ait eu l'intention d'inclure dans sa donation les salaires d'un professeur et d'un jardinier. Ce projet ne fut pas mis à exécution avant sa mort et lorsqu'elle se produisit en 1644, il ne laissait qu'une dotation modeste pour le Jardin et un jardinier nommé en 1641, un certain Jacob Bobart, père. Les termes de la nomination sont intéressants: Bobart et ses héritiers en étaient titulaires pour 99 ans à un salaire de £40 par an, main-d'œuvre et dépenses comprises, plus les produits du Jardin. Cette dernière clause se trouva des plus importantes car le salaire ne fut pas versé pendant les années troublées du Commonwealth et de la Restauration. On trouve dans les archives de l'Université une pétition signée mais sans date du fils de Bobart — Jacob comme son père — réclamant un salaire au Vice-Chancelier en ces termes: «C'est en effet une triste et étonnante chose que de voir ce Jardin Public, le seul d'Europe entretenu par ses propres moyens». Bobart fait remarquer l'indignité d'avoir à exposer près de la croix du marché de Carfax «les dépouilles du Jardin». Ainsi, la dépense d'un shilling notée par Samuel Pepys en regard de sa visite du 9 juin 1668 contribua sans doute à l'entretien des plates-bandes; de même «les fruits excellents» goûtés par John Evelyn et ses compagnes le 12 juillet 1654 ne furent pas acceptés sans compensation. En dépit de toutes ces difficultés, les Bobart cultivaient aussi des plantes «exotiques». Evelyn rapporte qu'on lui montra entre autres la plante sensible *Mimosa pudica* qui impressionna aussi Celia Fiennes lors de sa visite quelque trente ans plus tard. Elle raconte que c'est une «gentille plante» qui pousse sous verre à cause de la rudesse de l'air.

FIGURE 1 – *Bâtiments construits à l'ouest face au Jardin, à partir de l'une des deux serres bâties vers* 1730. *Ce sont actuellement les principaux laboratoires de la Section de Botanique. A gauche on voit une des plates-bandes, consacrée à l'ordre des labiées. L'arbre sur la gauche est un cyprès des marais* (Taxodium distichum) *planté vers* 1840.

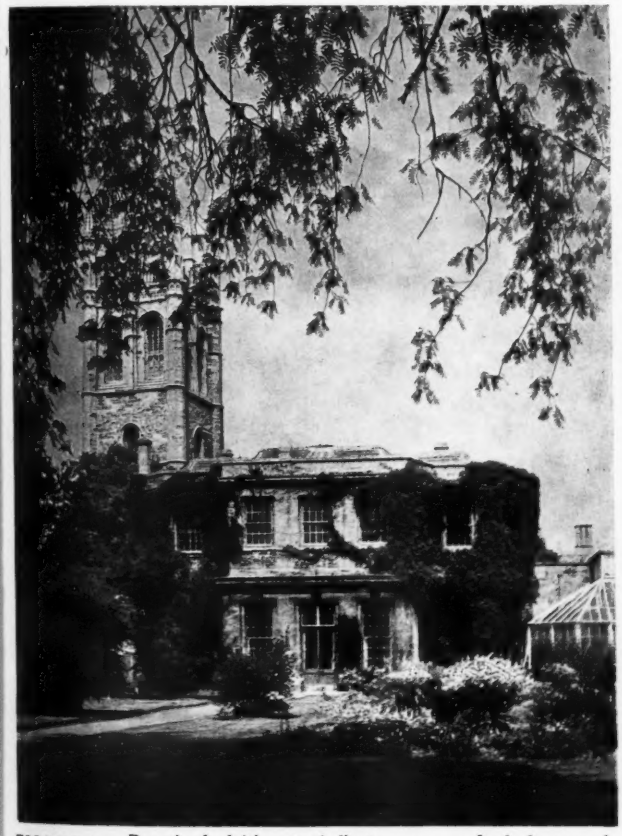


FIGURE 2 – *Rangée de bâtiments à l'est, avec, au fond, la tour de Magdalen. Le rez-de-chaussée de ce bâtiment (l'actuelle bibliothèque) est la seconde des deux orangeries construites vers* 1730. *Le feuillage du premier plan appartient au grand sorbier* (Sorbus domestica).

FIGURE 3 – *Section de la serre de plantes aquatiques tropicales. Au fond de gauche à droite, des plants de lotus* (Nelumbium speciosum), *de papyrus* (Cyperus papyrus) *et de canne à sucre* (Saccharum officinarum).

FIGURE 4 – *Vue prise des murs du Jardin dans la direction de Christ Church et de Merton College. A mi-chemin vers la gauche on voit une partie du nouveau jardin d'arbustes. Au premier plan, la collection d'iris hybrides.*

FIGURE 5 – *Partie du marais dans le jardin d'arbustes. Derrières à gauche, certaines espèces de la collection de roses et de cotonéastres.*

FIGURE 6 – *Vue du mur sud-est prise de l'extérieur, montrant les iris hybrides et de l'autre côté de l'allée une bordure d'herbacées variées.*

FIGURE 7 – *Vue de la partie ouest du jardin clos, montrant les plates-bandes rectangulaires classées par ordres. Le grand* Ginkgo biloba *est au centre à gauche. A l'extérieur vers la droite on voit une partie des nouveaux bâtiments de Merton College et derrière, Christ Church.*

FIGURE 8 – *Rangée de serres sur les côtés de la Porte Danby, d'après une gravure de 1773. La ligne importante de bâtiments derrière la porte était à l'époque les appartements du professeur et la bibliothèque. La serre à l'extrême droite est l'actuelle bibliothèque (figure 2).*

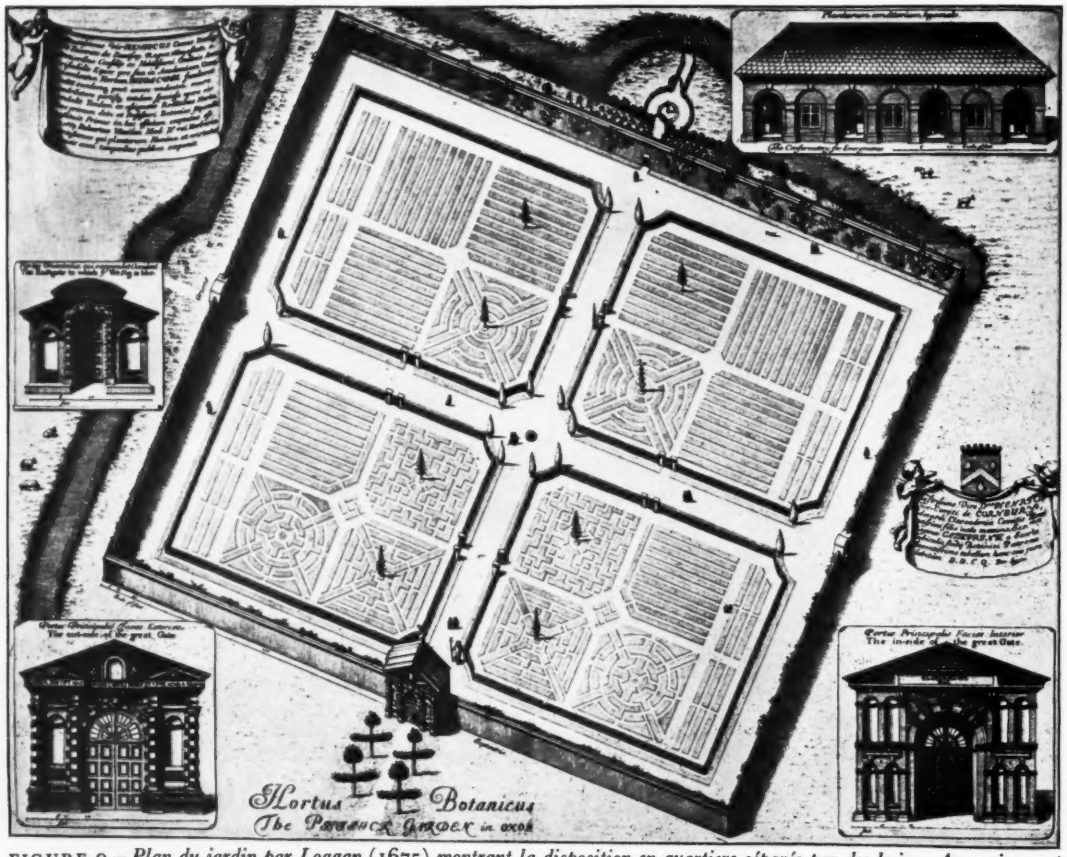


FIGURE 9 – *Plan du jardin par Loggan (1675) montrant la disposition en quartiers séparés par des haies. Aux coins sont les élévations des entrées et en haut à droite, la serre.*

La première serre du genre chambre ou orangerie fut construite hors des murs et son mur arrière donnait sur la Grand'rue comme l'indique le plan de Loggan. Elle dut être très insuffisante et au début du XVIIIe siècle furent érigées les serres que nous montre une gravure de 1773 (figure 8). Leur construction est mentionnée dans une lettre au Dr. Richardson datée du 17 juillet 1734. Les deux serres genre orangerie existent encore. L'une, qui a gardé sa forme originale, est maintenant la bibliothèque (figure 2); l'autre a été incorporée aux laboratoires (figure 1) mais les piliers de la porte d'entrée et deux fenêtres qui la flanquent sont nettement visibles à cause de leur pierre plus ancienne que celle du reste du bâtiment.

Parmi les manuscrits de la bibliothèque se trouve un fragment de carnet de notes écrit sans doute de la main de Humphrey Sibthorp, le second à occuper la chaire Sherard. On y trouve un catalogue des plantes du Jardin alors évidemment divisé encore en quartiers. La dernière des notes, précieuse pour établir l'âge du document, rapporte qu'une vigne de Virginie fut plantée en 1770. Nous n'avons aucune preuve que ces plantes existent encore de nos jours mais il est intéressant de noter que plusieurs des plantes grimpantes indiquées sur cette ancienne liste ont des représentants modernes poussant à peu près aux mêmes endroits, en particulier les chèvrefeuilles du côté nord du mur méridional.

Une transformation radicale fut effectuée avant la fin du XVIIIe siècle et les quatre sections premières disparurent. On planta des bosquets et les arbres furent groupés géographiquement de chaque côté de l'allée faisant axe nord-sud et le long des murs est et ouest. Il est possible que certains de ces arbres subsistent encore, comme semble l'indiquer le groupement de plusieurs espèces de Grande-Bretagne, d'Europe, d'Amérique du Nord et d'Asie le long des mêmes allées. Le terrain entre les rangées d'arbres était occupé par de longues plates-bandes rectangulaires où des plantes étaient disposées d'après le système de Linné. Pendant l'ère victorienne, ces dernières furent remplacées par des massifs variés, arrondis ou courbes répartis sur les pelouses, mais le système de Linné prévalut sur la plus grande partie du terrain. Finalement, en 1886 fut adoptée la présente disposition en rangées de plates-bandes plantées d'espèces herbacées groupées en familles d'après le «système naturel» de Bentham et Hooker. Sans compter sa commodité pour les étudiants de botanique, la régularité de ces plates-bandes s'harmonise bien avec l'aspect un peu rigide du Jardin clos (figure 7). Le groupement systématique s'arrête en face des bâtiments (figure 1) et autour des murs où l'on trouve un mélange de plantes vivaces entourées d'arbustes et de plantes grimpantes disposées selon leur besoin d'exposition directe au soleil ou d'abri. On a laissé suffisamment d'arbres et d'arbustes pour rompre la monotonie du terrain plat.

Des arbres poussant à l'intérieur du Jardin, le plus remarquable est un énorme spécimen de *Sophora japonica* planté en 1817 et qui a maintenant près de 5 m de circonférence à hauteur d'homme. Egalement digne d'intérêt est un magnifique spécimen de sorbier (*Sorbus domestica*) issu dit-on de l'exemplaire fameux de la Forêt de Wyre et apporté au Jardin par John Sibthorp (professeur de 1784 à 96). L'arbre est certainement très ancien avec ses 2 m de périmètre et sa position par rapport aux allées révèle qu'il fut planté bien avant l'arrangement actuel. Ses feuilles, qui deviennent rouge vif en automne sont visibles au premier plan de la figure 2. Le Ginkgo, qui a près de 2,5 m de tour excède aussi la moyenne pour la Grande-Bretagne et l'on croit qu'il appartient également à la plantation de la fin du XVIIIe siècle; il se trouve du côté réservé à l'Asie et Daubeny le mentionne dans son guide de 1853 parmi les arbres les plus anciens.

La nouvelle série de serres date du siècle dernier mais on a dû les rénover récemment au point de vue construction. Elles sont orientées au sud-est, face à la Cherwell à l'extérieur des murs et sept d'entre elles — il y en a neuf en tout — sont ouvertes au public. On s'efforce d'y entretenir un choix représentatif mais l'espace est trop restreint pour permettre des expositions spectaculaires ou une spécialisation poussée. La collection de plantes grasses est bonne mais on ne peut plus affirmer comme en 1876 que c'est la première de Grande-Bretagne. Par contre, le vaste réservoir de nénuphars tropicaux est vraiment remarquable. Construit à l'origine pour la culture du *Victoria regia*, il fut bientôt rempli d'un vaste assortiment de plantes aquatiques de serre chaude. Il est bordé par deux rives marécageuses où l'on trouve de grosses touffes de papyrus et de canne à sucre, rejetons de plantes cultivées à cet endroit depuis un siècle (figure 3).

Ces cinq dernières années, le Jardin s'est agrandi du côté sud permettant le développement d'un jardin d'arbustes. Jusqu'ici les spécimens étaient cultivés très à l'étroit à l'intérieur des murs. Le nouveau terrain permet la culture d'espèces plus variées pouvant être groupées en genres

apparentés, tandis que les plantes elles-mêmes ayant davantage d'espace individuel, fleurissent plus librement. La collection de berbéris, bien que restreinte par nécessité, a été soigneusement choisie avec la collaboration du Révérend Dr. Ahrendt, autorité en la matière. On fait pousser en ce moment une roseraie où un bon nombre de roses anciennes, peu cultivées de nos jours, sont préservées. Il est dommage que la forte proportion de calcaire dans le sol ne permette pas la culture d'un grand nombre de plantes belles et admirées mais ne supportant pas la chaux.

Le jardin de rocaille est petit mais compte un nombre surprenant d'espèces diverses. C'est au début de l'année qu'il est d'ordinaire le plus joli, bien que l'étudiant et l'enthousiaste y découvrent toujours de nouveaux attraits. Là encore, le sol et l'eau calcaires empêchent la pousse de certaines espèces.

L'horticulture en masse de plantes populaires avec toutes leurs variétés n'est ni possible, ni désirable dans un jardin scientifique restreint. La seule exception est en faveur des roses et des iris. Ces derniers font un riche tableau en mai et au début de juin (figures 4 et 6). Ils sont suivis de près par les roses qui fleurissent tout l'été. Récemment les conservateurs se sont attachés à faire pousser certains groupes de roses dernièrement parues, pour donner une idée de leur comportement dans les conditions ambiantes.

Il est naturel qu'au cours de sa longue histoire, notre Jardin ait reçu les soins de maint botaniste et horticulteur fameux. Le premier *Horti Custos*, Jacob Bobart père, était une figure bien connue de l'Oxford contemporain avec sa longue barbe pailletée d'argent aux jours de fête. Il était renommé pour son habileté à la taille ornementale, comme en témoignaient les deux géants faits d'ifs taillés se dressant de chaque côté de l'allée principale à la porte Danby, comme pour défendre les trésors de l'intérieur. Le plan de Loggan (figure 9) montre bien leur position.

Le fils de Bobart, Jacob également, était jardinier quand Robert Morison, nommé premier professeur de botanique par Charles II en 1669, mourut en 1683. Morison était occupé à une œuvre immense, *Plantarum Historiae Universalis Oxoniensis* dont le volume II seulement avait paru au moment de sa mort. Bobart compléta le volume III à l'aide des documents laissés par Morison mais le volume I ne fut jamais écrit. Le nom de Bobart paraît aussi plusieurs fois dans les travaux de John Ray et mérite d'être retenu. D'après certaines remarques, on a tout lieu de penser qu'il croyait à une reproduction sexuelle possible chez les plantes, fait non reconnu à l'époque. Si les notes en question avaient été publiées alors, elles auraient certainement laissé prévoir les travaux de Camararius (1694). Il resta en fonctions jusqu'en 1719, et se retira à l'âge de 79 ans. Il mourut peu après.

L'état d'abandon où était tombé le Jardin au début du XVIIIe siècle à cause de la vieillesse de Bobart et de son manque d'argent conduisit indirectement à une vigoureuse renaissance.

William Sherard dont l'intérêt pour la botanique était dû en partie à Morison, car il fut élu Fellow de St John's College l'année de la mort de ce dernier, revint finalement en Angleterre en 1721 après de nombreuses années passées comme Consul à Smyrne. Il avait réuni un énorme herbier et une bibliothèque remarquable qu'il offrit à l'Université si, en retour, elle assurait la mise en ordre du Jardin, la construction de serres convenables et un fonds pour son entretien. Sherard stipulait aussi que son adjoint, J. J. Dillenius, l'un des premiers botanistes de l'époque, serait le premier professeur Sherardien. Il mourut en 1728 et les négociations interminables entre l'Université et ses exécuteurs testamentaires nous offrent un tableau secondaire, mais combien intéressant, de l'Oxford d'alors.

Dillenius reçut enfin la chaire en 1734 et l'Université s'engagea à fournir £150 par an pour l'entretien du Jardin. Un comité fut chargé de gérer les finances et d'établir un règlement auquel professeur et jardinier devaient se conformer; il nommait de plus ce dernier et renouvelait annuellement la nomination à condition que le jardinier s'engageât à obéir au professeur. Les premiers comptes rendus montrent que le travail du comité se bornait à une réunion annuelle où l'on recevait les comptes et envisageait le renouvellement de la nomination. Les comptes de 1734 montrent que le Jardin avait coûté près de £2700 pendant les quatre années précédentes.

Linné visita le Jardin alors que Dillenius avait été nommé depuis peu. Ecrivant à Richardson le 25 août 1736, Dillenius ajoute en post scriptum qu'«Un nouveau botaniste vient de se montrer dans le nord, l'inventeur d'une méthode nouvelle *a staminibus et pistillis*, dont le nom est Linné. . . . Sa méthode ne durera pas». Cette mention faite peu de temps après la visite fait entrevoir que Dillenius n'était pas exactement bien disposé envers le jeune Suédois et l'on dit que c'est la diagnose brillante de Linné sur la petite cymbalaire (*Linaria cymbalaria*) poussant librement sur le mur du Jardin, qui révéla à Dillenius que son

visiteur était capable de plus que «tout brouiller en Botanique». Nous savons que Linné rentra en Hollande rapportant du Jardin d'Oxford, à la demande de son protecteur Cliffort de nombreuses plantes et boutures qu'il lui avait été impossible d'obtenir au Jardin de Chelsea. Les lettres de Dillenius prouvent qu'il envoya des paquets de graines à Linné; il y eut même un envoi de 140 paquets. Le Dr. Humphrey Sibthorp qui lui succéda ne fit qu'un seul cours, qui n'eut du reste aucun succès, en l'espace de 37 années et l'on voit dans les archives du Jardin une série de jardiniers dont un seul se distingue: G. D. Ehret, le célèbre peintre de fleurs. Nommé en novembre 1750 à un salaire de £50 par an plus le casuel, il devait fournir la main-d'œuvre nécessaire. Il fut nommé à nouveau l'année suivante mais, comme il refusa de prêter le serment d'obéissance au professeur, le choix fut déclaré nul. Il est certain qu'il avait plus de zèle que le professeur mais le comité fut bien obligé de le renvoyer.

Pendant toute la seconde moitié du XVIIIe siècle et le début du XIXe, les charges de la chaire et les affaires du Jardin furent intimement liées. Tout porte à croire que la réorganisation du terrain et l'introduction du système de Linné eurent lieu pendant le professorat du jeune Sibthorp (John) de 1784 à 96. Il en passa la plus grande partie à voyager en Grèce, réunissant des matériaux pour sa grande *Flora Graeca*. Il est malheureusement difficile d'estimer quelle aurait été son influence sur le Jardin s'il avait vécu plus longtemps, mais comme fondateur de la chaire Sibthorp d'économie rurale, il aurait apporté certains progrès en mettant l'accent sur les travaux expérimentaux. En définitive, dès 1790, les réunions du comité cessèrent et ne reprirent que 22 ans plus tard. Le successeur de Sibthorp, George Williams, réunissait les fonctions de médecin exerçant et de professeur Sherardien. Malgré son érudition il ne semble pas que sa connaissance pratique des plantes ait été très grande. Comme l'exprima Sir J. E. Smith, fondateur de la Société Linnéenne: «La Botanique était assoupie à Oxford». Mais un changement se préparait, qui fut bientôt annoncé par la nomination en 1813 de William Baxter comme jardinier, au salaire de £50 par an. Il conserva le poste 58 ans. Tout d'abord Baxter fut très handicapé par le manque de fonds et de soutien. Les serres, vieilles de près de 80 ans, tombaient en ruines. Leur système de chauffage était dérisoire. Un brasier ouvert de charbons ardents était transporté sur des roulettes dans les orangeries quand il faisait froid. De plus la menace d'inondations était grave. Baxter réunit une vaste collection de saules et s'intéressa beaucoup aux plantes sans fleurs. Le Jardin eut une seconde renaissance lorsque l'horticulteur habile qu'était Baxter se trouva soutenu par l'ardeur et l'enthousiasme du professeur Daubeny si bien qu'au milieu du siècle on le considérait comme le plus remarquable de Grande-Bretagne.

C. G. B. Daubeny avait fait ses études à Winchester et à Magdalen College dont il devint agrégé en 1815. Il alla ensuite étudier la médecine à Edimbourg et revint à Oxford en 1822 pour occuper la chaire Aldrich de chimie. Il était surtout connu pour ses travaux sur le volcanisme, mais comme il avait déjà publié certaines études sur des sujets botaniques aussi divers que la nutrition minérale des plantes, leur irritabilité et leurs métamorphoses, il fut élu professeur Sherardien en février 1834 à la mort de Williams. On raconte que le soir même de son élection, il était déjà dans le Jardin avec Baxter, faisant des plans pour sa réorganisation à la lueur d'une lanterne. Daubeny mendia de l'argent chez ses amis et à son collège, contribua lui-même largement aux dépenses et commença une réforme immédiate. La construction de serres plus modernes fut l'un de ses premiers soucis. Il bâtit également une habitation pour le professeur, faite en partie de l'étage supérieur de l'ancienne orangerie (figure 2). Il devint en 1840 professeur d'économie rurale dans la chaire de Sibthorp et détint ainsi pour un temps trois chaires d'Oxford simultanément.

A l'époque de Daubeny l'étude de la botanique en cours organisés et séances de laboratoire était insoupçonnée. Elle commença à Oxford sous son successeur et aboutit à la formation d'une section scientifique au sens moderne du mot. Lorsque, quelque 80 ans plus tard l'Université bâtissait ses laboratoires scientifiques dans les Parcs, on pensa abandonner le vieux Jardin et transférer aux Parcs tout ce qui, à l'Université, touchait à la botanique, avec la possibilité d'un jardin plus grand. Le projet fut ardemment débattu mais abandonné finalement.

De nos jours, la section de botanique va bientôt occuper de nouveaux laboratoires dans la division des sciences, mais il faut souhaiter que l'ancien Jardin continue longtemps à servir l'Université et la Grande-Bretagne derrière les murs élevés il y a près de trois cent-cinquante ans.

Le phosphore radioactif et les échanges de matières nutritives dans les lacs

F. R. HAYES et C. C. COFFIN

L'article traite de l'enrichissement de l'eau des lacs au moyen de phosphore libre et décrit trois expériences; au cours des deux premières, après addition de 100 millicuries de P^{32} aux eaux d'un lac stratifié, des échantillons d'organismes aquatiques et d'eau ont été analysés. La troisième expérience consiste en l'addition de 1000 millicuries de P^{32} à un lac primitif à faible végétation. La disparition rapide de la radioactivité de l'eau et l'absorption immédiate par le plancton, les éponges, etc., indique un mouvement constant d'échanges. Les distributions ioniques s'effectuent 10–100 fois plus vite que l'on ne pensait.

INTRODUCTION

L'azote, le potassium et le phosphore sont les premiers éléments à envisager lorsqu'on projette d'enrichir les sols arables au moyen d'engrais. Il était donc tout naturel de se tourner vers ces substances lors des premiers efforts en vue d'augmenter la fertilité des lacs, mais on a des raisons de croire [7] que le phosphore isolé donne le même résultat qu'un engrais composé. Cela tient peut-être à ce que le potassium est déjà présent en quantité suffisante dans les lacs et que l'addition de phosphore active le dégagement d'azote [4].

La concentration naturelle du phosphore dans les lacs est de l'ordre de $25 \cdot 10^{-9}$, et les neuf-dixièmes s'en présentent sous forme organique. Lorsqu'on augmente artificiellement cette concentration, on constate en général que presque tout le phosphore ajouté disparaît très rapidement [8, 9]; dans les expériences avec des engrais ordinaires au phosphate on en a souvent employé de très grandes quantités, telles que 10 à 100 fois la concentration naturelle. On observe la même diminution rapide lorsqu'on n'accroît la concentration naturelle que de 1 ou 2%, comme c'est le cas dans les expériences avec du phosphore radioactif. Le mécanisme de cette élimination si rapide mérite évidemment une étude.

LE CYCLE PHOSPHORE-FER

Il est peut-être bon de signaler ici quelques conclusions [3, 6] auxquelles on est conduit par l'étude du mécanisme des échanges de matières nutritives. On peut considérer un lac au printemps comme une masse d'eau saturée d'oxygène avec au fond un dépôt de boue oxydée d'un centimètre d'épaisseur environ (figure 3). Dans la couche supérieure de cette boue il y a du phosphate ferrique insoluble, tandis que les couches plus profondes contiennent du phosphate ferreux soluble: la couche oxydée constitue la barrière qui empêche le phosphore d'arriver à l'eau. Lorsque l'été touche à sa fin, l'oxygène se raréfie dans les couches profondes du lac, car elles sont froides et plutôt stagnantes; le fer de la couche de boue en contact avec l'eau est réduit à l'état de phosphate ferreux soluble et se dissout. Les ions de sel ferreux et de phosphate s'élèvent donc dans le lac jusqu'à ce qu'ils atteignent le thermocline plus riche en oxygène, et là ils ont tendance à se réoxyder et à se précipiter. D'autre part, il est possible qu'un peu de phosphate parvienne à la surface du lac à condition que la boue contienne de l'acide sulfhydrique. Cet acide se forme dans certaines conditions anaérobies et précipite le fer, permettant ainsi à l'ion phosphate libéré de gagner les couches supérieures du lac (figure 3). Comme c'était là tout ce que les expériences ordinaires pouvaient nous apprendre, on a pensé que l'emploi de substances radioactives faciles à suivre permettrait de mieux retracer les mouvements du phosphore dans les eaux lacustres et dans le cycle nutritif en général.

CONSIDÉRATIONS PRATIQUES

On trouve un peu partout des lacs appartenant à l'ère géologique primitive et qui sont plutôt stériles: on les rencontre souvent dans les terrains à base de quartz et de granit. D'autres lacs sont plutôt des marais acides, souvent entourés de sphaignes et situés dans les régions non-agricoles. Enfin, il existe aussi des lacs évolués ou étangs de prairies aux rives bordées de roseaux; ces étangs se rattachent fréquemment aux communautés agricoles. Il est peu probable qu'on

FIGURE 1 – *Autoradiographie d'une grenouille péchée dans le lac 40 jours après l'addition de P^{32}; la concentration dans le squelette est bien marquée. 15 jours d'exposition sur plaque dentaire à rayons X.*

emploie jamais les traceurs radioactifs dans d'autres lacs que ceux des deux premières catégories; en effet, vu le danger que ces substances présentent pour la santé, les autorités qui distribuent les isotopes radioactifs ne sont pas disposées à permettre qu'on en mette dans les eaux voisines de communautés agricoles.

La vitesse de désintégration de l'isotope et la mesure dans laquelle il est disponible sont parmi les facteurs qui déterminent le type de lac ainsi que l'élément qu'on y étudiera; ainsi, on obtiendra plus facilement l'autorisation d'employer de grandes quantités de P^{32} (demi-vie de 2 semaines environ) que de C^{14} (demi-vie de 5000 ans).

EXPÉRIENCES

C'est Hutchison et Bowen [5] qui ont effectué la première expérience avec du P^{32} dans le Connecticut, E.-U.: ils en mirent 10 millicuries dans un lac stratifié de 6 hectares. Ils constatèrent que l'élément se mélange à l'épilimnion, et ils en déduisirent qu'il pénètre aussi dans l'hypolimnion. Ils trouvèrent aussi que la quantité de phosphore radioactif absorbée par les plantes du littoral telles que le *Potamogeton* est multipliée par 1000 au bout d'une semaine.

Nous avons fait trois expériences distinctes avec le phosphore radioactif; nous allons les décrire séparément. Dans la première nous avons versé 100 millicuries de P^{32} dans un marais acide très stratifié ayant une superficie de moins de 45 ares et une profondeur maximum de 7 m [1]. Deux heures après l'addition du P^{32}, des organismes aquatiques furent retirés du lac à intervalles et analysés. Le zooplancton, les éponges, les sphaignes et les algues avaient absorbé l'élément rapidement et directement, ce qui indique que ces organismes peuvent tirer parti du phosphore inorganique proprement dit. Chez d'autres organismes, par contre, la radioactivité ne put être décelée qu'après un certain délai: ce délai était de quinze jours pour des plantes à racines telles que l'airelle et la dirca, tandis que pour des poissons comme le *Fundulus* (nous en avions préalablement mis 4000 dans le lac) et le *Notemigonus* il n'était que de quelques jours. On peut en conclure que ces organismes obtiennent leur phosphore par le plancton dont ils se nourrissent. Nous pûmes étudier la répartition de l'activité dans les organismes à l'aide d'autoradiographies, comme celle d'une grenouille (figure 1). L'analyse systématique d'échantillons de l'eau du lac indiqua que l'activité totale du début avait rapidement

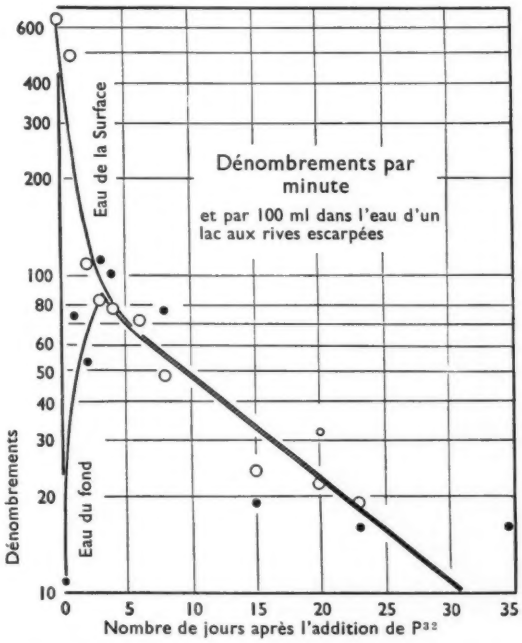


FIGURE 2 – *Concentrations du phosphore radioactif à la surface et au fond d'un lac complètement homogénéisé. Le temps est mesuré à partir de l'addition de P^{32} à la surface. L'ordonnée est logarithmique.*

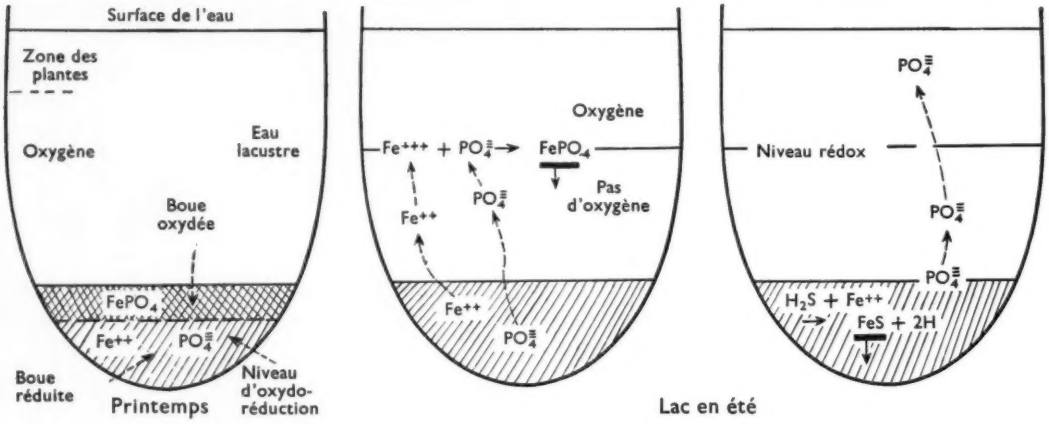


FIGURE 3 – *Echanges entre la boue et l'eau lacustres au printemps et en été.*

diminué, et au bout d'un mois il n'en restait plus que 10 %. Rien ne nous a permis de croire que le phosphore ait jamais atteint le fond du lac, bien qu'il ait dépassé le thermocline.

La deuxième expérience eut lieu au fond du même lac en 1949 mais les détails complets n'en ont pas encore été publiés. 100 millicuries de P^{32} furent placés dans une grande bouteille remplie d'eau et munie d'une capsule de dynamite. Lorsque la bouteille fut à la température du lac, nous la fîmes exploser de l'intérieur, plaçant ainsi le phosphore à 1 m au-dessus du fond du lac. Des échantillons de l'eau furent prélevés par intervalles pendant trois mois. On découvrit que le phosphate s'était répandu très lentement dans la couche froide du fond, à la vitesse latérale maximum de 1,5 m/h; le déplacement était laminaire dans l'hypolimnion car en deux mois la substance se déplaça de 49 m dans le sens horizontal, atteignant ainsi le rivage; en revanche, nous ne pûmes en déceler de concentrations mesurables à plus de 3,5 m au-dessus du niveau initial.

Notre première expérience nous avait appris que certaines plantes sont capables de concentrer jusqu'à 40 000 fois plus de phosphore que l'eau environnante n'en contient. Nous prîmes donc des échantillons biologiques à la surface de l'eau et nous en fîmes l'analyse pour le P^{32}: les échantillons provenant des parties du lac où l'on ne pouvait pas déceler de phosphore radioactif en contenaient cependant dans leurs tissus. Nous pensons que ces organismes parviennent à extraire le phosphore de plus d'eau que nous ne pouvions en prélever et analyser. La concentration du phosphore radioactif était fort élevée dans la boue: on en déduit que la plus grande partie du produit actif s'y perd.

Pour notre dernière expérience nous choisîmes un lac de 3 hectares de surface et de 7,50 m de profondeur. C'était un lac primitif, tout différent du premier; il n'avait pas de sphaignes du tout, très peu de végétation et il était si mélangé qu'entre la surface et le fond on ne pouvait jamais distinguer de différence dans la concentration d'oxygène ni dans la température. Après l'introduction de 1000 millicuries de P^{32} dans la surface du lac, des analyses faites par intervalles (figure 2) démontrèrent qu'au bout de quelques jours le lac tout entier avait acquis une concentration unique qui diminua progressivement ensuite. Ce diagramme de la figure 2 tracé sous forme semi-logarithmique indiquerait que l'élimination du P^{32} est plus rapide au début, confirmant ainsi des expériences antérieures. Cette diminution de la radioactivité constitue d'autre part le fait le plus remarquable de l'expérience présente. On comprend mal, en effet, pourquoi l'activité diminue si vite, puisque la concentration du phosphore dans le lac n'a été augmentée que de 0,25 %. Cette élimination sélective de la substance supplémentaire nous a fort intrigués et nous pensons qu'il ne s'agit pas d'une élimination proprement dite mais plutôt d'un mécanisme d'échange; un équilibre s'établirait rapidement entre la boue, les plantes, etc., d'une part, et l'eau du lac de l'autre. Par exemple, si la boue et les organismes vivants contiennent 1000 fois plus de phosphore que l'eau, et si l'équilibre s'établit fort vite, la substance ajoutée se partagera rapidement entre la boue et l'eau dans le rapport de 1000 à 1. Qui, à ce

moment, se bornerait à mesurer la concentration dans l'eau, enregistrerait une disparition de la matière aussi considérable que rapide. La pente de la droite de la figure 2 montre que l'activité de l'eau diminue très vite et que la perte de P^{32} est de 7 % par jour. Il y aurait donc un renouvellement complet du phosphore de l'eau tous les quinze jours; bien entendu, il se peut qu'un atome particulier de phosphore s'échange plusieurs fois alors qu'un autre ne s'échange pas du tout.

Comme l'échange des ions peut se confondre avec leur perte apparente, il est peut-être bon de comparer ce mécanisme aux mouvements de l'argent. A titre d'exemple, supposons que presque tout l'argent des habitants d'une ville se trouve à un moment donné dans les banques et qu'un des habitants disperse an hasard un paquet de billets marqués. Après quelques jours la plupart de ces billets seront arrivés dans les banques par les voies normales du commerce. Cela ne signifie pas que les banques retirent délibérément de la circulation tous les billets marqués, ni même que les banques détiennent une plus grande proportion de la richesse des citoyens. Cela prouve tout simplement que les banques sont engagées dans un mouvement d'échanges commerciaux très actif, et c'est l'aspect le plus important du cas qui nous concerne.

CONCLUSION

Des expériences comme celles que nous venons de décrire — portant d'une manière générale sur des milieux organiques — permettent de tirer deux conclusions: 1°, que les mouvements ioniques ont lieu 10 ou 100 fois plus vite qu'on ne l'avait cru auparavant et 2°, que les dépôts et les éliminations de matière ne se font pas indépendamment, mais qu'il faut plutôt les considérer comme des échanges. L'application des isotopes radioactifs à la recherche limnologique renforcera vraisemblablement ces conclusions.

Il nous est agréable d'exprimer ici notre reconnaissance pour l'appui précieux reçu du Département du Commerce et de l'Industrie de la Nouvelle-Ecosse, du Conseil National de Recherche du Canada et de la Fondation de Recherche de la Nouvelle-Ecosse.

NOTE SUR LE PHOSPHORE 32

Le phosphore 32 a une demi-vie de 14,3 jours. Il n'émet que des rayons bêta d'une énergie maximum de 1,7 MeV. Ces rayons sont très actifs et faciles à mesurer.

On peut préparer le P^{32} en bombardant le phosphore ordinaire de poids atomique 31 avec des neutrons; l'activité spécifique (ou activité par gramme) de l'isotope radioactif qu'on obtient ainsi est plutôt restreinte, l'objectif et le produit étant chimiquement identiques. Habituellement on irradie du phosphore rouge dans la pile atomique, on dissout le produit dans de l'acide nitrique de concentration moyenne, ce qui donne de l'acide orthophosphorique au phosphore 32; son activité spécifique est d'environ 10 millicuries.

Pour préparer du phosphore 32 plus actif il faut soumettre le soufre 32 au procédé (n, p). On introduit dans la pile du soufre ordinaire à l'état d'élément; quelques atomes absorbent un neutron, émettent un proton, et sont donc transformés en phosphore 32. Comme le noyau du produit est un élément chimique différent de l'objectif, on peut extraire du soufre le phosphore 32 sans qu'il soit mélangé à de grandes quantités de phosphore inactif. On fond le soufre, et l'on extrait le P^{32} au moyen d'acide nitrique concentré si l'extraction a lieu à la pression ordinaire, ou à l'acide dilué si l'on opère sous pression. Le phosphore se trouve ainsi en solution sous forme d'acide orthophosphorique que l'on peut séparer des autres substances; son activité spécifique est très élevée. Le P^{32} employé dans les expériences du genre de celles que nous avons décrites est presque toujours préparé par la dernière méthode.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Coffin, C. C., Hayes, F. R., Jodrey, L. H. et Whiteway, S. G. *Nature*, **163**, 963, 1949.
[2] *Idem. Canad. J. Res.*, D., **27**, 207, 1949.
[3] Einsele, W. *Arch. Hydrobiol. Plankt.*, **29**, 664, 1936.
[4] *Idem. Z. Fisch.*, **39**, 407, 1941.
[5] Hutchinson, G. E. et Bowen, V. T. *Proc. Nat. Acad. Sci. Wash.*, **33**, 148, 1947.
[6] Mortimer, C. H. *J. Ecol.*, **29**, 280, 1941; **30**, 147, 1942.
[7] Neess, J. C. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, **76**, 335, 1946.
[8] Orr, A. P. *Proc. Roy. Soc. Edinb.*, B, **63**, 3, 1947.
[9] Smith, M. W. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, **75**, 165, 1945.

Le Science Museum de Londres

F. SHERWOOD TAYLOR

L'auteur fait l'historique du Musée et en décrit les diverses sections: physique, chimie et photographie, transports terrestres et maritimes, machines électriques et minières, aéronautique, navigation, force motrice et industries, astronomie, géophysique et mathématiques. L'article parle aussi de la bibliothèque et de son service de documentation, et fait allusion aux objectifs du Musée et aux agrandissements projetés.

Le Musée des sciences, à Londres, devenu une institution nationale, est une émanation de la grande exposition de 1851. Le Prince Consort présenta alors un projet pour l'encouragement de l'éducation industrielle et l'application des sciences et des arts à l'industrie, qui aboutit à la formation de la Commission des Arts et des Sciences, chargée principalement de constituer un musée. Les collections se rapportant à ces sujets furent exposées d'abord à Marlborough House, puis, en 1856, dans un grand bâtiment en tôle ondulée élevé sur l'emplacement actuellement occupé par le Musée Victoria et Albert et inauguré en 1857 sous le nom de Musée de South Kensington. Plus tard les collections scientifiques furent transférées dans un autre local construit sur l'emplacement actuel du Musée des sciences, ou à côté, car elles prenaient de l'ampleur, surtout après l'adjonction de celles du Musée des brevets en 1883. L'année 1909 marque une étape dans l'histoire du Musée: les collections d'art vont constituer le Musée Victoria et Albert, se séparant des collections scientifiques connues désormais sous le nom de Musée des sciences. Les salles en étaient encombrées et insuffisantes et c'est là une des raisons pour lesquelles une Commission présidée par Sir Hugh Bell reçut mandat d'enquêter sur l'organisation, les buts et les besoins du Musée des sciences. A la suite des recommandations de la Commission commença la construction, encore inachevée, d'un groupe de bâtiments. Les galeries de l'Est, que tout Londres connaît bien, furent inaugurées en 1928. Le bâtiment central est en cours de construction et plus tard ce sera le tour de la partie occidentale.

Le Musée a pour but de faire connaître, au moyen de pièces appropriées, les diverses sciences et leurs applications aux arts et à l'industrie, et loger dignement les objets qui marquent les étapes du progrès de la science ou de l'histoire des découvertes. A part la médecine et la biologie (sauf leurs applications agronomiques) ainsi que la géologie qui, ayant leur place dans d'autres musées nationaux, ont été exclus du Musée scientifique, toutes les autres sciences pures et appliquées y figurent. Une des fonctions importantes du musée est de fournir de la documentation: il l'accomplit au moyen de sa bibliothèque scientifique, une des plus riches de Grande-Bretagne.

De tous les musées britanniques le Musée des sciences est le plus fréquenté, et la gamme des visiteurs s'étendant de la foule des écoliers jusqu'aux historiens de la science et aux ingénieurs spécialistes, complique le problème de l'exposition des pièces. Le musée se doit plus au public en général qu'au spécialiste: l'on s'efforce en conséquence de mettre en évidence les principes les plus élémentaires, surtout au moyen de modèles fonctionnants qui constituent un puissant attrait pour les ingénieurs en herbe. Ce constant souci de ce qui convient au grand public s'est toujours opposé à la formation de collections spécialisées. Contrairement à la pratique habituelle des autres musées, le Musée des sciences exposait avant la guerre 95% de son fonds, et s'abstenait de mettre en réserve des collections à l'usage des chercheurs.

Les pièces sont classées en sept sections: physique, chimie et photographie, transport terrestre et maritime, mines et électricité, aéronautique et navigation à voiles, puissance motrice et industries, astronomie et géophysique.

Les subdivisions de la section de physique sont bien connues — chaleur, son, optique, électricité et magnétisme, auxquelles se sont ajoutées récemment l'électronique et la physique nucléaire. La science de la mesure du temps, basée sur les lois de la physique, y est aussi représentée, et on y trouve également deux collections historiques, celle du roi George III et celle de Lord Rayleigh. La collection George III se compose d'admirables appareils scientifiques rassemblés sous les auspices de ce monarque pour l'instruction des enfants royaux. La collection Rayleigh, de dimension

modeste, présente des appareils fabriqués à son usage personnel par le troisième Lord Rayleigh et témoigne de la diversité de son génie.

Les sections consacrées à la physique classique présentent des séries chronologiques de pièces montrant l'évolution des appareils en usage dans les divers secteurs de cette science. La collection des microscopes, au grand complet, est probablement unique au monde. Parmi eux se distingue le microscope de Hooke construit par Christopher Cock (figure 1) qui faisait naguère partie de la collection George III. Là se trouve aussi quelques objets de caractère didactique, et l'on envisage d'augmenter le nombre des pièces qui donnent une idée des phénomènes physiques, car, tout en étant instructives en soi, elles font ressortir l'importance des appareils qui attirent moins l'attention.

Les sections consacrées à la physique électronique et atomique suivent de leur mieux la rapide évolution de ces sujets; tandis que la section de la mesure du temps réunit depuis la clepshydre et le cadran solaire des anciens Egyptiens jusqu'à l'horloge au quartz des temps actuels.

Les collections chimiques se formèrent plus tard que celles de la physique. Ce n'est du reste qu'actuellement, avec l'achèvement des nouvelles galeries, que les progrès de la chimie industrielle nous sont présentés convenablement.

La section de chimie pure renferme de célèbres spécimens, entre autres des échantillons originaux de la benzine de Faraday (1825), le thallium métallique et en composés de Crookes (1862), le rhodium et le palladium de Wollaston (1803–4) et les appareils et les tubes spectraux avec lesquels Ramsay et ses collaborateurs étudièrent les gaz rares de l'atmosphère (1895–8). Les sections de chimie organique et inorganique s'augmenteront bientôt de collections destinées à expliquer la structure moléculaire, la biochimie et la chimie analytique. Une série de modèles a servi jusqu'ici à la démonstration des principaux secteurs de la chimie industrielle: l'appareil à fabriquer de la nitroglycérine que représente la figure 4 est un exemple typique.

Il faut signaler ici des modèles complets représentant un appareil à chambres pour la fabrication de l'acide sulfurique, une usine à soude Leblanc, et la cornue utilisée par James Young en 1851 pour distiller de l'huile de torbanite peut être comparée à une batterie de cornues modernes type «Pumpherston» pour l'extraction de l'huile de schiste. La fabrication des explosifs et les procédés de fermentation figurent en bonne place et l'on voit aussi quelques échantillons primitifs de soie artificielle et de colorants. Toutefois les grandes acquisitions récentes de l'industrie chimique britannique n'y figurent pas encore; c'est pourquoi l'on envisage une exposition à la page des principes, méthodes et produits de cette industrie, qui sera un des «clous» des nouvelles galeries.

La métallurgie est représentée par des modèles de hauts fournaux et d'installations de raffinage, anciens et modernes. La collection comporte des appareils d'essai et des modèles atomiques montrant la structure des métaux et des alliages.

Depuis 1929 la cinématographie a été séparée de la photographie proprement dite. Vers cette époque la Société Royale de Photographie mit à la disposition du Musée des sciences les pièces historiques les plus précieuses de sa collection, de sorte que l'ensemble constitue actuellement la plus belle rétrospective de la photographie qui soit au monde. La collection cinématographique remonte, pour ainsi dire, à la préhistoire du cinéma, et renferme les appareils photographiques et les projecteurs qui ont précédé la fabrication du premier film en celluloïde en 1889, et qui l'ont suivie.

La section Astronomie et Géophysique est consacrée aux océans et à l'atmosphère terrestre, à la Terre en rapport avec les autres planètes du système solaire, et enfin à l'univers astronomique. Elle se subdivise en: astronomie, géophysique, géodésie, magnétisme terrestre, géographie, océanographie, météorologie et mathématiques.

La partie mathématique montre l'évolution de la machine à calculer, les instruments de dessin et les modèles géométriques: là se trouvent les originaux des machines à calculer de Babbage. La galerie de l'astronomie expose des télescopes construits par Sir William Herschel, Lord Rosse et autres, et aussi des sextants, globes, astrolabes ainsi que nombre de diapositives de photographies célestes. L'échelle de l'univers est indiquée au moyen de modèles. L'achèvement du bâtiment central permettra, on l'espère, l'installation d'un planétaire et d'un observatoire muni d'un télescope à réflecteur de trois pieds, à l'usage des visiteurs. La section de géographie montre les méthodes et les appareils utilisés pour la recherche du pétrole et des métaux, et des sismographes qui enregistrent les tremblements de terre. La section géodésie et photogrammétrie possède une collection représentative des appareils utilisés pour la première triangulation générale des Iles Britanniques. L'on projette de donner de l'extension à la partie consacrée aux levés aériens et de faire

plus de place à l'illustration des méthodes cartographiques. L'évolution des appareils météorologiques y figure ainsi que les graphiques qui permettent de prévoir le temps, et un jeu de diapositives montrant les principaux genres de nuages et les autres phénomènes atmosphériques.

La section des machines est celle dont le musée s'enorgueillit: la galerie orientale (figure 3) par où entre le visiteur renferme les pièces qui se rapportent à la puissance motrice: force des bras, force hydraulique, moulins à vent, moteurs et turbines à vapeur, à gaz et à pétrole. Les lourdes machines à vapeur du XVIIIe siècle étonnent, et parmi les autres machines d'intérêt historique on remarque la machine à vapeur de Trevithick (1803), la première génératrice à turbine de Parsons (1884) et le premier moteur Diesel construit en Grande-Bretagne (1897).

La collection des outils à main et des machines-outils contient dans le peu d'espace dont elle dispose des outils préhistoriques en pierre; puis des outils simples en métal tels que hache, ciseau, marteau, perçeuse; les premières machines-outils: le tour à archet et le tour à perche, le tour à fileter original de Maudslay, la raboteuse de Roberts et la maquette exécutée par Nasmyth de son marteau-pilon à vapeur, ainsi qu'un groupe de machines inventées par Brunel pour la fabrication en série de poulies de navire.

La collection des machines à filer et à tisser comprend tout d'abord celles servant à la préparation des matières premières textiles: laine, coton, lin, soie et rayonne. Puis, après les anciens rouets et métiers à main viennent les premières machines d'Arkwright et des reproductions de la machine à filer de Hargreaves et du renvideur de Crompton. On peut faire fonctionner un métier à anneaux pour la démonstration de la méthode moderne de filage.

La collection des poids et mesures montre l'évolution des étalons groupés par période depuis l'an 5000 av. J.-C. jusqu'à nos jours. Les pièces capitales sont des poids et des mesures de l'ancienne Egypte et des états musulmans, provenant de la collection Petrie: les étalons principaux et secondaires de l'Echiquier britannique depuis Henri VII jusqu'à Victoria, des répliques du «yard» et de la «pound» actuels, et une collection de poids anglais en bronze pour le pesage de la laine, qui indique l'importance du commerce de la laine en Angleterre pendant près de trois siècles: et enfin les étalons de longueur de la Royal Society depuis 1742, c'est-à-dire depuis les débuts du mesurage scientifique en Grande-Bretagne.

Les transports de tous genres occupent une place importante. Le transport par route offre d'abord des pièces d'intérêt universel telles que chaises à porteurs et véhicules hippomobiles des XVIIIe et XIXe siècles. L'évolution de la bicyclette commence avec la draisienne de 1818, celle des voitures automobiles avec une voiture à trois roues de Benz portant le millésime 1888 et encore en état de marche. Les motocycles comprennent la machine de Wolfmüller (1884), et celle de Werner (1899) que montre la figure 3.

La collection ferroviaire possède de vénérables précurseurs comme *Puffing Billy*, ce qui reste de *Rocket* et de *Sans Pareil* et quelques pièces de *Novelty*, les trois locomotives qui prirent part à l'épreuve décisive de Rainhill en 1829, et la première locomotive électrique du métro (tube) londonien construite en 1890. L'historique de la locomotive à vapeur est représentée par une série de modèles à l'échelle qui commence avec une reconstitution hypothétique de la machine de Trevithick (1804) pour aboutir aux locomotives de la Régie des Chemins de fer britanniques. Il y a aussi des modèles de locomotives étrangères. Les wagons, la voie, la signalisation et les billets ont aussi leur coin, ainsi qu'une belle collection d'estampes et autres souvenirs des débuts du chemin de fer.

Les pièces les plus remarquables de la galerie des navires à propulsion mécanique sont les machines originales de Symington (1788) et de Bell (1812), la poupe du *Turbinia* (1897) contenant les turbines à vapeur, un petit moteur Daimler à explosion (1898) et une turbine à gaz installée dans la canonnière automobile No. 2009 en 1947. Les modèles de bateaux à vapeur représentent les principaux stades de leur évolution et les modèles de machines marines, surtout ceux de la collection Maudslay, présentent un très grand intérêt. L'évolution de la roue à palettes et à aubes, de l'hélice, de la chaudière et d'autres organes est démontrée au moyen de modèles et de pièces authentiques.

La section aéronautique vient, pour ainsi dire, d'être fondée: mais des pièces d'un puissant intérêt historique voisinent avec les appareils les plus récents. Logée pour le moment dans un local séparé, les Galeries de l'Ouest, elle aura sa place définitive dans le bâtiment central. Parmi les pièces anciennes on y remarque les modèles des appareils de Henson et Stringfellow et le planeur original de Lilienthal (1895).

L'avion de Wright (1903) s'y trouvait de 1928 à 1948, mais depuis a été rendu aux Etats-Unis. Une réplique le remplace. Le Musée possède une

FIGU
Chris
tion a

FIGURE 1 – *Microscope de Hooke construit par Christopher Cock. Faisait partie à l'origine de la collection du roi George III.*

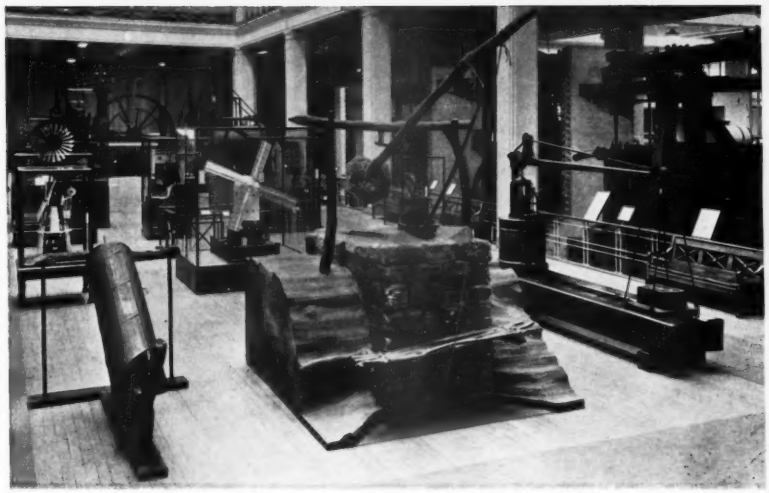


FIGURE 2 – *La partie du hall de l'est consacrée à la force des bras, la force hydraulique, les moulins à vent, machines et turbines à vapeur, moteurs à gaz et à pétrole.*

FIGURE 3 – *Motocycle de Werner* (1899) — *Rappelle le vélo-moteur actuel.*

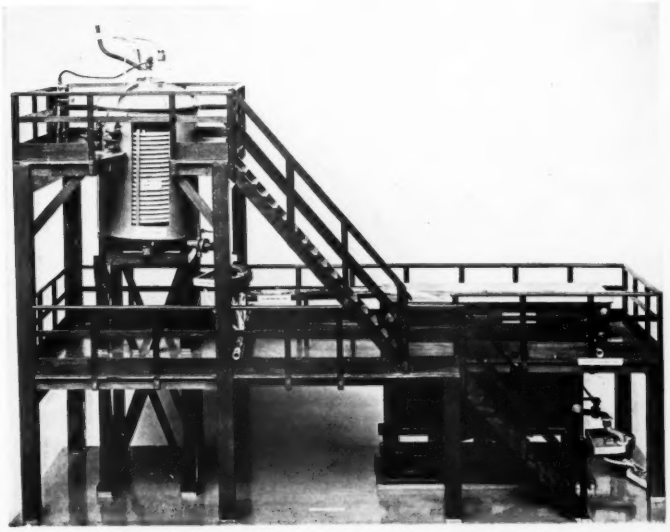


FIGURE 4 – *Modèle d'une installation pour fabriquer de la nitroglycérine.*

FIGURE 5 – *Modèle d'une ancienne charronnerie.*

FIGURE 6 – *Modèle d'une galerie de mine moderne.*

FIGURE 7 – *Reconstitution de la maison de William Murdock à Redruth avec son installation d'éclairage au gaz* (1792).

autre relique précieuse: l'avion dans lequel Alcock et Brown traversèrent l'Atlantique.

La section agricole se développe rapidement et possède un riche assortiment d'outils et d'appareils où figurent les plus primitifs. L'outillage pour la démonstration des méthodes agricoles modernes sera bientôt au complet et le public y aura accès en 1951.

Dans la nouvelle galerie de l'éclairage, très appréciée du public, des compartiments brillamment éclairés contiennent les pièces les plus intéressantes, et des dioramas permettent aux visiteurs de se rendre compte du pouvoir éclairant des divers dispositifs dont on s'est servi au cours des âges.

Parmi les acquisitions récentes qui offrent le plus d'intérêt il faut compter celles qui ont trait à l'industrie du gaz. En 1937, sur l'initiative de Thomas Hardie, alors ingénieur-en-chef de la Gas Light and Coke Co. et membre de la Commission Consultative du Musée, un comité formé de représentants de l'industrie du gaz fut chargé de réunir une collection de pièces appropriée à l'importance de cette industrie. C'est là un remarquable exemple de la collaboration de l'industrie au profit du Musée. Des fonds substantiels furent réunis et le projet était bien en route quand la guerre éclata. Récemment l'Institution des Ingénieurs du Gaz a repris le projet qui dispose maintenant de ressources financières accrues et dont la réalisation est en bonne voie. On met la dernière main à une galerie d'imposantes dimensions, aménagée selon les principes modernes, et on a bon espoir qu'elle pourra être inaugurée en mai ou juin 1951.

L'industrie minière, capitale au point de vue national, tient néanmoins peu de place dans le Musée. On espère toutefois pouvoir inaugurer l'année prochaine dans les sous-sols une nouvelle section minière dont l'attrait principal sera une houillère artificielle pourvue de près de 70 m de galeries et 30 m de front de taille, et d'un matériel complet (transporteurs, bennes, perforatrices, etc.) de grandeur naturelle. Le Musée a entrepris les travaux avec le concours de certains fabricants d'outillage minier. On y trouvera aussi un chantier métallifère.

La partie qui concerne la technique de l'électricité est riche en pièces historiques mais mal pourvue quant aux développements modernes: elle sera réorganisée afin de mieux représenter aux yeux des visiteurs les progrès techniques et l'importance générale du sujet. A cet effet le Musée a obtenu le concours d'une Commission émanant de l'Association des Ingénieurs Electriciens. Une galerie d'environ 900 m carrés, actuellement réservée au Festival de Grande-Bretagne, sera, aussitôt libre, consacrée à cette section.

Le Musée possède nombre de pièces de valeur qui mettent en évidence l'évolution du télégraphe et du téléphone, avec ou sans fil, ainsi qu'un choix d'appareils inventés pendant la guerre.

L'affluence grandissante des visiteurs après l'ouverture des nouvelles galeries en 1928 fit comprendre la nécessité de pourvoir aux besoins des jeunes et des non-initiés. Ce fut l'origine de la galerie des jeunes, où ceux-ci peuvent suivre pas à pas le développement d'une science au moyen de dioramas, de modèles mobiles et d'autres procédés pleins d'attrait pour les jeunes. Le livret-guide de cette galerie constitue une introduction très appropriée au progrès de la science: la vente de quelque quatre-vingt mille exemplaires en est une preuve.

Il est clair que c'est seulement le manque d'espace qui s'oppose à une exposition complète des progrès de la science et de la technique modernes dont les collections permanentes ne donnent qu'un aperçu. La direction du Musée est convaincue qu'il faut davantage: c'est pourquoi il se tient de temps en temps des expositions spéciales, d'une durée plus ou moins longue, dont l'objectif est d'attirer l'attention du public sur les nouveautés d'un domaine relativement restreint. Il y a eu un grand nombre de ces expositions au cours des trente dernières années, portant sur toute une gamme de sujets tels que la géophysique (1924), les agglutinants (1926), la technique du verre (1931), les basses températures (1936), la télévision (1938), l'éclairage (1950) et le câble sous-marin (1950). Ce sont des organismes industriels ou scientifiques, ou des firmes, qui se chargent d'une grande partie ou parfois de la totalité des frais et des peines que nécessite l'organisation de ces expositions spéciales dont une louable caractéristique est l'anonymat des exposants. Certaines expositions temporaires sont d'un genre différent: celles qui commémorent une grande réalisation de la science pure ou appliquée, ou celle qui récemment a été organisée au bénéfice des personnes frappées de cécité totale ou partielle.

Passons pour conclure à la Bibliothèque des Sciences qui joue dans le monde scientifique un rôle tant soit peu différent de celui du Musée proprement dit. La bibliothèque fut fondée au début même de la période victorienne, mais son rôle de premier plan commence vers 1930, l'année où commencèrent les prêts aux institutions scientifiques et aux équipes de recherches industrielles, mais pas aux individus. A cette époque son fonds,

surtout en périodiques, prit une extension considérable. Toutes les branches des sciences pures aussi bien qu'appliquées y sont représentées, mais ses ouvrages ne s'adressent pas toujours au profane.

Le succès rapide du système de prêts eut des conséquences inquiétantes: les emprunteurs témoignaient d'un tel zèle que les usagers de la salle de lecture trouvaient rarement le livre de leur choix à sa place habituelle. On réussit pourtant à circonscrire le mal et la bibliothèque est devenue un lieu de pélerinage pour les bibliothécaires du monde entier qui viennent s'y renseigner sur les procédés les plus récents de classification et de documentation. La guerre n'a pas révélé les difficultés dont on est menacé, car alors les lecteurs se firent moins nombreux et le service de prêts acquit une importance nationale en mettant les textes qu'il leur fallait à la disposition des nombreuses équipes de recherches créées pour les besoins de la guerre. C'est seulement après la guerre que l'afflux démesuré des lecteurs sur place aussi bien que des emprunteurs rendit la situation critique. Un service de photocopie a été mis sur pied (ainsi qu'un système co-opératif entre emprunteurs) afin de ménager les textes surmenés. Il reste néanmoins beaucoup à faire, surtout en ce qui concerne l'éducation des lecteurs, avant que l'établissement puisse répondre pleinement aux besoins qu'il s'est efforcé de satisfaire et qu'il a contribué à susciter.

Après cet aperçu des multiples activités du Musée, portons nos regards vers l'avenir. Si les besoins nationaux ne priment l'exécution des projets d'agrandissement du Musée, nous pouvons espérer un accroissement du nombre des sections et de la diversité des pièces qu'elles renferment. D'autre part, indépendamment de toute idée d'accroissement, le Musée suivra le mouvement révolutionnaire qui s'accomplit actuellement de par le monde. De même que le «gazophylacium» et le «cabinet des curiosités» si prisés au XVIIe siècle a fait place aux assemblages savants mais inertes du XIXe, nous remplaçons les collections par des expositions unifiées destinées, pas tant à montrer des objets que d'en faire jaillir des idées, et ce par tous les moyens susceptibles de faire impression sur l'esprit humain. Les suggestions ne doivent d'ailleurs pas être purement intellectuelles, car notre but n'est pas seulement de faire appel à l'intelligence qui saisit les concepts scientifiques, mais aussi à l'âme et au sens du goût dont le rôle est de lier ces concepts intimement à la vie même.

Physique des nuages et leurs précipitations

P. A. SHEPPARD

Formation et croissance des gouttes dans les nuages, et importance des noyaux générateurs de glace dans la production de précipitations. Certains nuages de convection peuvent se résoudre en pluie sans formation préalable de cristaux de glace. La précipitation artificielle peut être induite au moyen de neige carbonique jetée d'un avion, ou de particules d'iodure d'argent répandues dans le nuage par convection. Le radar est actuellement utilisé pour l'exploration des nuages.

Les nuages se forment dans l'atmosphère par un refroidissement quasi-adiabatique de l'air humide dû à sa montée; leur forme dépend de la nature et de la configuration de ce mouvement vertical: s'il s'étend sur une vaste surface horizontale, de l'ordre de 10 000 km^2 ou plus, la vitesse verticale est généralement assez réduite, pas plus de quelques cm/sec, et il se formera un nuage composé de couches horizontales (stratus). Si, d'autre part, le mouvement vertical est localisé (sur 1 km^2), soit la vitesse élevée (jusqu'à 1000 cm/sec) ou faible, il se formera un amas nuageux (cumulus). Les lois de la continuité et de la conservation de la masse exigent qu'il y ait dans les deux cas une descente d'air près du courant ascendant. La descente implique compression et réchauffement, et par suite évaporation de tout nuage qui aurait pu se former, dans l'air descendant; cette descente est généralement plus lente et plus étendue que la montée correspondante.

Cette classification sommaire demande une subdivision afin d'englober de façon adéquate la variété des nuages visibles. Des mouvements secondaires s'associent souvent au principal et donnent lieu à des combinaisons de couches et d'amas (strato-cumulus, altocumulus, cirrocumulus).

LA CROISSANCE DES GOUTTELETTES D'UN NUAGE

Depuis les travaux de C. T. R. Wilson et d'autres, nous savons que les gouttelettes ne se forment par refroidissement d'air humide que si la tension de vapeur atteint plusieurs fois la tension saturante. La condensation se produit alors sur des ions gazeux. On ne rencontre jamais dans l'atmosphère semblables sursaturations, mais il s'y trouve toujours, en plus ou moins grande quantité, des particules microscopiques ou ultramicroscopiques, souvent hygroscopiques, sur lesquelles la condensation peut se produire pour des degrés hygrométriques qui peuvent n'être pas très supérieure à l'unité. En ce qui concerne les particules hygroscopiques plus grandes, Wright [1] et d'autres ont montré que la condensation peut se produire pour des degrés hygrométriques nettement plus faibles. Certains de ces noyaux de condensation sont des particules de sel ordinaire, de diamètre environ égal ou inférieur à 1 μ; Dessens [2] a recueilli les gouttelettes sur des fils d'araignées ténus (voir figure 3) et examiné leur comportement dans une atmosphère dont on pouvait faire varier le degré hygrométrique. Elles restent souvent liquides pour des tensions de vapeur inférieures à la valeur d'équilibre pour une solution de sel saturée; ce sont alors des gouttelettes de solution sursaturée. Cependant la cristallisation finit toujours par se produire; plus la gouttelette est grande plus vite elle a lieu, avec une violence explosive, si bien qu'il se forme simultanément plusieurs noyaux plus petits. Simpson [3] a suggéré que les océans ne peuvent fournir les particules salines à une cadence suffisamment rapide pour alimenter tous les centres de condensation nécessaires à l'air où se forment les nuages et d'où partent ensuite les précipitations. Il se peut que les oxydes d'azote produits sans doute par les décharges électriques et ensuite dispersés très loin, fournissent d'autres centres hygroscopiques, plus petits, et que des particules humidifiées de poussière servent de noyaux non-hygroscopiques.

Le processus suivant lequel les noyaux hygroscopiques grossissent à l'intérieur d'un courant ascendant peut se déduire de la figure 4*a*, où l'on voit la tension de vapeur en équilibre sur des gouttes formées à partir de solutions de concentrations variées, en fonction de leur grosseur. Ces courbes à bosses ont une forme déterminée par deux effets contraires. L'un est la baisse de tension de vapeur au-dessus d'une solution saline, qui pour une goutte donnée augmente avec la concentration, l'autre l'élévation de la tension de vapeur

FIGURE 1 – *Exemple de cirrus (cristaux de glace), résultat de la formation préalable d'un nuage (cirrocumulus) de gouttelettes d'eau en surfusion. La transformation est presque complète, mais il reste (en haut au centre) un morceau de cirrocumulus, dont un élément (en bas à droite de la tache) est en cours de transformation (voir les flèches). A des températures de formation inférieures à — 40°, la phase liquide initiale se voit moins facilement.*

FIGURE 2 – *Cumulonimbus, avec son enclume bien développée, presque complètement transformé en glace. Le nuage est sans doute passé à la phase de désagrégation, bien que la pluie tombe encore depuis la base.*

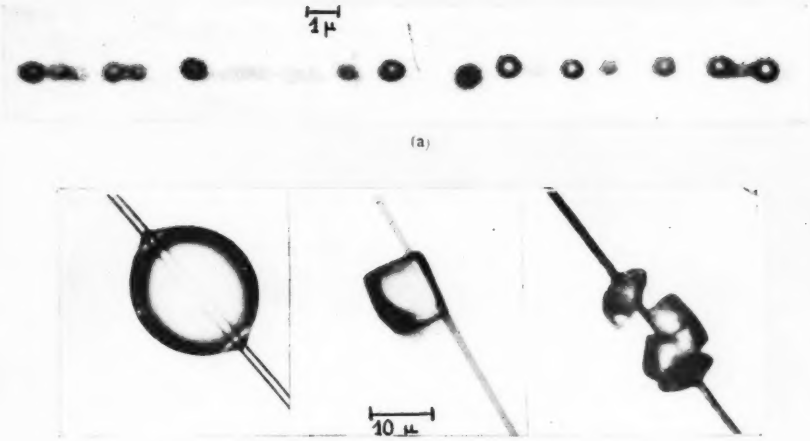


FIGURE 3 – (a) *Photographie des gros noyaux de gouttelettes dans la brume.* (b), (c), (d) *Photographie d'un gros noyau de gouttelettes avant* (b) *et après* (c, d) *dessiccation. Remarquer le clivage* (d). (*D'après Dessens.*)

(*Les figures* 1, 2 *et* 3 *sont reproduites avec la permission de la Royal Meteorological Society.*)

au-dessus d'une surface convexe de liquide pur, d'autant plus forte que la goutte est plus petite (effet Kelvin). Remarquons que chaque courbe est entièrement au-dessus ou au-dessous de la courbe voisine et que la bosse de sursaturation disparaît pour les noyaux contenant des solutions plus concentrées.

La condensation a lieu sur n'importe quelle goutte dès que la tension réelle de vapeur dans l'air dépasse la valeur d'équilibre correspondant au diamètre; et la vitesse à laquelle grandit ce dernier est proportionnelle à cet excès de tension de vapeur et inversement proportionnelle au diamètre. Ceci découle de la loi de la diffusion vers un corps sphérique. L'importance de l'excès de tension de vapeur dépend à son tour de la vitesse de montée et de la température, c'est-à-dire: de la vitesse à laquelle apparaît de la vapeur d'eau prête à la condensation, du nombre de gouttes par unité de volume, et de leur diamètre (figure 4*b*).

La réalité, pour laquelle le nombre et la diversité des noyaux est immense, est plus complexe. Tous les noyaux commencent par grossir tandis que l'humidité se rapproche du point de saturation, mais c'est seulement ceux dont le corps dissous dépasse une certaine concentration, qui sont capables de franchir la bosse de la courbe d'équilibre, parce que la sursaturation réelle dépend de la rapidité avec laquelle la vapeur d'eau restante sera absorbée par le noyau en croissance rapide. Pour ceux qui franchissent l'obstacle, la vitesse de croissance à partir de là, dépend du diamètre, de deux façons opposées; l'excès de tension de vapeur est plus grand pour de plus grosses gouttes (*cf. BB'* et *CC'*, figure 4*b*), mais pour un excès donné de tension de vapeur, les petites gouttes grossissent par diffusion plus vite que les grosses. Les différences dans la vitesse de croissance ne sont donc pas évidentes et c'est seulement par des calculs détaillés pour un spectre nucléaire donné, et pour des vitesses de montée et des températures données, que l'on peut anticiper un résultat. Howells [4] a fait ces calculs pour des vitesses de montée faibles, moyennes et rapides, avec une gamme de noyaux susceptible de se rencontrer dans la nature; il trouve une forte tendance à l'homogénéité très tôt dans la vie d'un nuage. Seuls les plus gros (10 à 20% du nombre total de noyaux) deviennent des gouttes; plus la montée est rapide, plus un pourcentage élevé des noyaux est utilisé, plus les dimensions des gouttes sont uniformes. Cette conclusion trouve un appui dans l'aspect lenticulaire des altocumulus nés dans les ondes stationnaires formées vent-abas sur un certain relief topographique. Des vitesses verticales considérables se rencontrent dans ces ondes et les nuages présentent une couronne irisée, signe d'homogénéité. Howells a trouvé que dans un nuage en formation la sursaturation est faible à tous les instants, avec un maximum d'environ un pour cent dans les courants ascendants rapides.

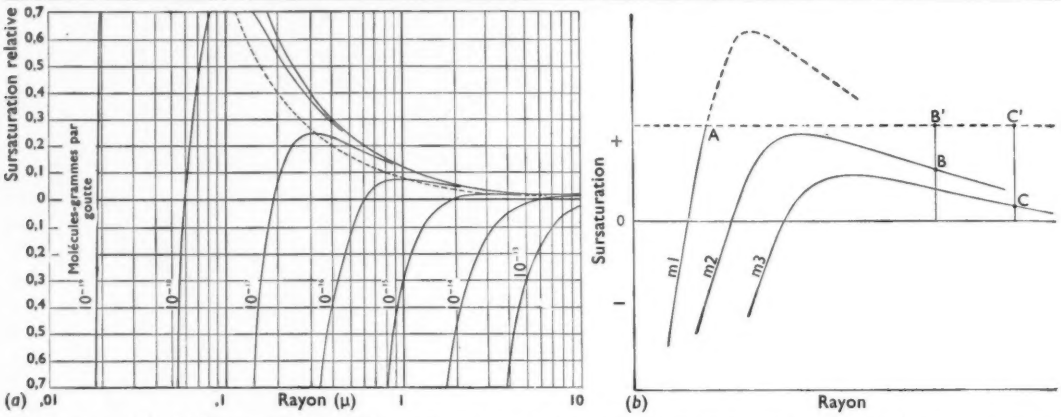


FIGURE 4 – (a) *Différence avec la tension saturante au-dessus d'une surface plane, de la tension de vapeur de gouttes d'eau contenant des quantités déterminées de corps dissous, exprimées en nombre de molécules par goutte, par suite indépendante de la nature du corps dissous.* (*D'après Howells*). (b) *Portion de* (a) *très agrandie pour montrer le processus de croissance. Le trait discontinu horizontal représente la tension de vapeur autour des gouttes à un instant donné. Le noyau* m1 *est en équilibre avec son entourage en* A, *et ne croît pas; on admet que les noyaux* m2 *et* m3 *ont atteint respectivement les points* B *et* C, *et subissent des tensions de vapeur en excès de l'équilibre représentées par* BB' *et* CC' *et par conséquent, s'accroissent.*

Les observations sur le diamètre et la concentration des gouttelettes dans les nuages ne sont pas encore très nombreuses ni peut-être très sûres. Il y a généralement quelques centaines de gouttelettes par cm³ dont les diamètres peuvent varier considérablement en un point quelconque du nuage. Mais il y a toujours des maxima assez fixes dans les courbes de répartition des diamètres et des volumes, preuve d'une tendance à l'homogénéité. La position de ce maximum varie d'un point à un autre et dépend du type de nuage. La diamètre des gouttelettes peut varier de 2 à 50 μ (ou davantage dans les nuages en précipitation); le diamètre moyen se place généralement entre 6 et 30 μ. De ce point de vue, les nuages se classent généralement de la façon suivante: stratus (minimum), stratocumulus, cumulus, altocumulus, nimbostratus, cumulonimbus (maximum) [5, 6, 7].

La répartition des gouttes suivant leurs dimensions est modifiée sur le pourtour des nuages par mélange et remous avec l'air pur; la gamme des volumes en est élargie, de même que par collision entre les gouttes elles-mêmes à l'intérieur du nuage.

Une démonstration simple permet de comprendre que le phénomène de condensation ne produit pas spontanément de grosses gouttes. Prenons un cas très favorable. Un air chaud (mettons 25°) de degré hygrométrique 0,70, assez pauvre en noyaux (100 par cm³) est emmené à une telle altitude que pratiquement toute la vapeur se condense. Les gouttes ainsi produites, que l'on suppose uniformes, auront, peut-on démontrer, un diamètre inférieur à 70 μ. On sait qu'une goutte de petite pluie a un diamètre de plus de 200 μ. Des ascensions aussi prolongées emmèneraient évidemment l'air jusqu'à des niveaux où la température est bien inférieure à 0°, mais il se produit généralement dans l'atmosphère une surfusion jusqu'à une température minimum de − 30°, si bien qu'il est raisonnable de supposer que c'est pendant toute la durée de l'ascension que se produit la condensation de la vapeur.

Nous sommes ainsi amenés à la conclusion que les nuages de gouttes d'eau sont en général stables du point de vue colloïdal et ne peuvent donner lieu à de la pluie qu'en présence d'un agent (jusqu'ici laissé de côté) qui amènera l'agrégation des gouttelettes. La glace est l'un de ces agents.

LES NUAGES DE GLACE

Nous venons de noter que les gouttelettes d'eau restent en surfusion dans l'atmosphère. Leurs noyaux se trouvent aussi à des températures inférieures à zéro, mais il semble qu'au-dessous de − 40° environ, c'est toujours sous forme de glace que se produit la condensation; c'est alors que naissent ces beaux cirrus aussi ténus qu'un fil et ces cirrostratus générateurs de halos, des grandes hauteurs. Mais là encore, il faut constater qu'il n'y a formation d'un cristal de glace que sur un noyau d'abord assez humidifié par une atmosphère saturée vis-à-vis de l'eau, c'est-à-dire sursaturée vis-à-vis de la glace d'environ 50% (voir figure 1). L'atmosphère est fréquemment sursaturée vis-à-vis de la glace, mais n'arrive pas à saturation vis-à-vis de

l'eau liquide, sans la présence d'un nuage de glace. La traînée de condensation persistante des aéroplanes est la preuve de cet état de choses. L'échappement de l'appareil produit assez de vapeur d'eau pour amener la saturation en eau dans son sillage; c'est alors que grossissent les noyaux et que se forme un nuage de glace artificiel. Fournier d'Albe [8] a examiné ce phénomène à l'ultra-microscope, en se servant d'une chambre à détente où la fin de la détente pouvait correspondre très précisément au point de congélation ou de rosée de l'air. Il trouva que tandis qu'à des températures inférieures à — 41°, il ne se formait que de la glace, il apparaissait des cristaux de glace parmi des gouttes en bien plus grand nombre, entre — 32° et — 41°, lorsque l'air utilisé était pollué. Il découvrit également deux sortes de noyaux artificiels: l'iodure d'argent et l'iodure de cadmium, possédant un seuil de température bien plus élevé pour la formation de la glace, à savoir respectivement — 7° et — 9°, mais cette dernière température seulement dans le cas où le sel avait été préalablement activé à — 41° ou au-dessous. De plus, l'iodure de cadmium se comportait alors en véritable noyau de sublimation, c'est-à-dire qu'il devenait actif au point de congélation; outre la glace elle-même, c'est le seul noyau de sublimation connu jusqu'ici. Les deux substances ont des constantes réticulaires très proches de celles de la glace 1.

Findeisen [9] avait déjà découvert l'existence dans l'atmosphère de noyaux formateurs de glace qui deviennent actifs vers — 10°, mais à des concentrations si faibles (environ un par litre) qu'on ne put les trouver dans la petite chambre de détente de Fournier d'Albe. Nous allons voir qu'ils sont susceptibles d'être des facteurs importants d'instabilité colloïdale dans les nuages en surfusion. On ne connaît pas avec précision la nature des noyaux de congélation de l'atmosphère mais Mason [10] a tenté des déductions. La technique de la chambre à détente utilisée jusqu'à présent dans ces observations est l'équivalent de vitesses d'ascension d'air ultra-rapides et, comme Findeisen trouva que l'activité des noyaux dépend de la vitesse de détente, on doit mettre quelque prudence à appliquer directement à l'atmosphère les résultats de cette recherche. Nous pouvons cependant supposer que la plupart, sinon tous les nuages en surfusion contiennent pour des températures comprises entre — 10° et — 30°, un très petit pourcentage de particules de glace, et une proportion plus élevée au-dessous de — 30°; qu'enfin, la glace prédomine au-dessous de — 41° et peut même représenter 100% du nuage.

PRODUCTION DES PRÉCIPITATIONS

Nous avons déjà vu que le degré hygrométrique dans un nuage composé d'eau était pratiquement de 1 par rapport à l'eau et la présence d'un nombre relativement réduit de cristaux de glace ne peut modifier sensiblement cet état de choses. Ces cristaux se trouvent par conséquent dans une atmosphère sursaturée et grossissent donc aux dépens des gouttelettes d'eau avec une vitesse de croissance maxima à — 12°. Grossissant rapidement, elles atteignent vite une vitesse de chute supérieure à celle des gouttelettes environnantes du nuage; il en résulte une action d'entraînement qui hâte encore le grossissement. Dans les nuages en couches épaisses (nimbostratus), où la vitesse d'ascension est réduite, ces éléments de précipitation sont surtout des flocons de neige, alors que dans les puissants nuages à convection (cumulonimbus), ce sera plutôt du grésil, ou des grêlons. Bien entendu, ils commenceront à fondre aussitôt que, pendant la chute, la température dépassera 0° et si le nuage s'étend au-dessous de ce niveau, c'est par le mouvement de balayage seul que continuera le grossissement. La précipitation peut atteindre le sol sous forme de pluie si la distance est suffisante et si la température s'élève assez entre le niveau de 0°, et le sol.

Ce fut Bergeron qui, le premier, en 1933, avança l'essentiel de ces idées. On peut les résumer comme suit: chaque goutte de pluie est d'abord un cristal de glace. On a récemment démontré que la concentration des noyaux générateurs de glace pour les températures les plus élevées, a l'ordre de grandeur voulu, bien qu'on ne doive pas nécessairement exclure d'autres processus de formation de la pluie. Par example, il y a de multiples preuves que certains nuages de convection, particulièrement aux tropiques, donnent de la pluie sans pour cela s'étendre au-dessus du niveau de 0°. Ludlam (non publié) a suggéré que ceci peut arriver lorsqu'une petite fraction de noyaux hygroscopiques particulièrement gros ont une croissance plus rapide et, au cours de mouvements verticaux assez vastes, restent assez longtemps dans le nuage pour atteindre la taille de gouttes de pluie, et même de grosses gouttes, par le seul fait du mouvement de balayage. Il est facile de démontrer que le balayage peut produire un grossissement rapide:

Ludlam [11] a également signalé la possibilité d'une réaction en chaîne dans les cumulonimbus. A l'origine, de petits grêlons peuvent ramasser de l'eau par un balayage assez rapide pour que la chaleur de fusion latente ne se dissipe pas entièrement et que des gouttes de pluie en surfusion

ruissellent à l'arrière de l'élément. Ces dernières peuvent encore grossir par balayage, devenir instables et se fragmenter, et ainsi de suite. Dans ce cas, les cristaux de glace apparaissant vers le sommet ou au sommet d'un cumulonimbus (figure 2) ne sont d'aucune utilité dans le départ de la précipitation, bien qu'ils puissent expliquer l'averse plus légère, à la fin d'un orage. Lorsque la concentration des particules de glace est élevée, le processus Bergeron doit en tous cas être moins efficace.

PRÉCIPITATION ARTIFICIELLE

La découverte que les précipitations sont produites par un phénomène de déclenchement a conduit récemment à de nombreux travaux sur le déclenchement artificiel des précipitations. Celui-ci s'est fait de deux façons. Dans l'une, on a déversé d'un avion de petites boules de neige carbonique dans des nuages en surfusion, dans l'autre on a introduit dans les nuages des noyaux d'iodure d'argent par convection à partir du sol. Les boules de neige carbonique font naître dans leur sillage des cristaux de glace en abondance, par refroidissement local, et de larges portions d'un stratus en surfusion peuvent ainsi se disperser en transformant le nuage en neige. Il apparaît aussi que l'on a provoqué la pluie à partir de gros cumulus par cette même méthode, et par imprégnation d'iodure d'argent, mais on doit se souvenir que de toutes façons ces nuages pourraient produire des précipitations. Ce n'est que pour une étroite bande de température au sommet du nuage que l'ensemencement artificiel peut être employé pour précéder l'ensemencement naturel. Si cependant l'ensemencement n'est pas la seule méthode pour déclencher la précipitation d'un nuage, comme l'indiquent les précipitations naturelles de nuages sans glace, le champ des possibilités de la stimulation artificielle s'en trouve notablement élargi. Que la précipitation se produise naturellement ou artificiellement, la présence dans le nuage d'une grosse quantité d'eau liquide sur une grande hauteur est nécessaire. Elle est favorisée par une température élevée à la base (point de rosée élevé du contingent d'air), une grande profondeur (pour donner aux embryons de la précipitation une assez grande distance de chute dans le nuage), et une grande vélocité verticale (durée prolongée de chute des éléments d'une précipitation sur une profondeur donnée, dans le nuage).

NOUVELLES MÉTHODES D'INVESTIGATION DES NUAGES

On peut considérer les expériences récemment entreprises sur la précipitation artificielle des nuages, comme une extension des procédés d'expérience contrôlée usités en physique de laboratoire, qui sont rarement applicables en météorologie. Ainsi, quel qu'en soit le résultat quant à la provocation (ou même la prévention) de la pluie, les météorologistes tireront de ces expériences beaucoup d'enseignements sur la physique des nuages.

Un nouvel outil puissant dans la main du physicien des nuages est désormais le radar centimétrique. Un nuage repousse et diffuse les pulsations suivant la loi de Rayleigh, c'est-à-dire avec une intensité proportionelle à $\Sigma(nd^6)$ où n est le nombre de gouttes de diamètre d dans le faisceau. Le radar fournit ainsi une technique d'exploration (surtout pour les cumulonimbus pour lesquels l'aéroplane est un instrument plutôt fragile), particulièrement indiquée pour l'identification des grands éléments; on peut donc l'utiliser pour étudier la croissance d'une précipitation, les particules d'eau comme celles de glace produisant un écho. Le cycle de la vie d'un cumulonimbus est environ d'une heure, si bien qu'on peut le suivre sur un seul poste de radar. Depuis la guerre, on a beaucoup appris sur ce cycle [12].

Il est intéressant de remarquer que le givrage des aéroplanes est un problème où intervient, non seulement la structure nuageuse, mais aussi dans une certaine mesure la croissance des éléments de précipitation eux-mêmes. Les résultats des recherches sur la physique des nuages de Langmuir et d'autres, se sont enrichis en raison de cette relation.

BIBLIOGRAPHIE

[1] WRIGHT, H. L. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **65**, 411, 1939.
[2] DESSENS, H. *Météorologie*, **23**, 321, 1947; *Quart. J. R. met. Soc.*, **75**, 23, 1949.
[3] SIMPSON, G. C. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **67**, 163, 1941.
[4] HOWELLS, W. E. *J. Met.*, **6**, 134, 1949.
[5] BRICARD, J. *Météorologie*, **19**, 57, 1943.
[6] DIEM, M. *Met. Rdsch.*, **1**, 261, 1948.
[7] LEWIS, W., et HOECKER, W. H. *N.A.C.A. Tech. Note*, No. 1904, 1949.
[8] FOURNIER D'ALBE, E. M. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **75**, 1, 1949.
[9] FINDEISEN, W. *Met. Z.*, **59**, 349, 1942.
[10] MASON, B. J. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **76**, 59, 1950.
[11] LUDLAM, F. H. *Ibid.*, **76**, 52, 1950.
[12] SHEPPARD, P. A. *Sci. Progr.*, **38**, 78, 1950.

Substances antibactériennes des lichens

FLORENCIO BUSTINZA

L'utilisation médicale d'extraits de lichens remonte à 1700 av. J.-C. Il est question ici des recherches récentes touchant l'activité antibactérienne des lichens contre *Staphylococcus aureus*, *B. subtilis*, *P. vulgaris*, et autres; de l'importance de l'acide usnique et de ses dérivés surtout en ce qui concerne *Mycobacterium*. L'auteur donne un bref aperçu de ses travaux sur *Evernia furfuracea*, *E. prunastri* et *Usnea florida* et de leur activité contre *S. aureus* et *M. phlei*.

Nous possédons de nombreuses preuves de l'usage des lichens en médecine dans l'ancien temps. On rapporte que lors d'un voyage dans la vallée du Nil en 1864 un certain Docteur Schweinfurth découvrit un fragment de lichen dans un vase de la XVIIIe dynastie (approximativement XVIIe siècle av. J.-C.). Müller identifia ce lichen comme étant *Evernia furfuracea* (L.) Ach. Fait intéressant, on a récemment montré [1] qu'un extrait brut de cette espèce se montre actif contre les espèces bactériennes *S. aureus*, *B. mycoides*, *B. licheniformis*, et *M. phlei*. Un autre lichen *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. possède une réputation établie de longue date en médecine.

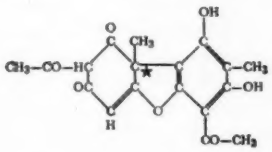
Dans les temps modernes, Burkholder et ses collaborateurs [2] furent les premiers, en 1944, à attirer l'attention sur l'activité antibactérienne de différents lichens. Pour leurs essais, réalisés par la méthode de culture mise au point pour la pénicilline, ils utilisent des extraits bruts obtenus en broyant des lichens fraîchement récoltés dans un tampon de phosphate à *p*H 7,4. Ils expérimentent sur *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. vulgaris*, *A. faecalis* et *E. coli*. Dans un article postérieur [3], ils décrivent d'autres expériences faites non seulement avec des lichens frais mais aussi avec du matériel sec, provenant de différentes collections. Sur plusieurs centaines d'espèces expérimentées, 52 se montrent actives contre *S. aureus* ou *B. subtilis*, mais la plus grande majorité s'avèrent inactives contre les bactéries Gram négatives; le tableau suivant indique les exceptions.

La découverte de l'activité antibactérienne des extraits de lichens a conduit à l'étude particulière de certains acides lichéniques. Le premier de ceux-ci avait été isolé par Pfaff en 1826 à partir de *Cetraria islandica;* par la suite, Hesse et Zopf en ont isolé beaucoup d'autres. En 1843, Rochleder et Heldt isolaient à partir d'*Usnea barbata* une importante substance, l'acide usnique dont la nature chimique fut étudiée par Curd et Robertson et par

ACTIVITÉ DE LICHENS CONTRE LES BACTÉRIES GRAM NÉGATIVES

Espèces de lichens	*Actives contre*
Cladonia delicata; Cladonia glauca; Parmelia conspersa; Parmelia rudecta; Thamnolia vermicularis; Xanthoria parietina ..	*A. faecalis*
Cladonia borbonica; Parmelia rudecta ..	*E. coli*
Parmelia physodes; Umbilicaria papulosa ..	*P. vulgaris*

Schöpf et Ross. Les chercheurs japonais Asahina, Asano et leurs collaborateurs ont fait une étude détaillée de la nature chimique des produits des lichens et Asahina lui-même a fourni une importante contribution à cette recherche en dévelop-



pant des méthodes microchimiques d'identification des acides lichéniques.

Burkholder et ses collaborateurs ont montré [3] qu'une solution aqueuse saturée d'acide usnique est active contre *B. subtilis* mais inactive contre *E. coli* et *S. aureus*. L'atranorine et l'acide fumarprotocétrarique sont tous les deux inactifs contre ces espèces bactériennes. En 1945, Barry et McNally [4] notent seulement une faible activité de l'acide roccellique (acide α-méthyl-α′-*n*-dodécylsuccinique) contre *M. phlei* et *M. tuberculosis bovis*. Ils trouvent d'un autre coté une grande activité des monoesters et de la monoamide de cet acide tirée de *Lecanora sordida*.

Nolan et ses collaborateurs ont étudié la nature chimique de la diploïcine tirée de *Buellia canescens*;

ils ont montré que c'est un depside contenant trois atomes de chlore. En 1946, Barry tentait d'expérimenter son action antibactérienne mais le trouvait insoluble dans l'eau; cependant par traitement avec les alcalis on fait apparaître une fonction phénol et un radical carboxyl et le dérivé obtenu possède un sel de sodium soluble dans l'eau. Ce dernier est actif *in vitro* contre *M. smegmatis*, *Corynebacterium diphtheriae* (*mitis*) et *M. tuberculosis* [5].

Plus récemment, en 1947, Marshak a publié un intéressant travail sur une substance cristallisée antibactérienne obtenue à partir de *Ramalina reticulata* (Noedh) Kremph. Il observe qu'à une dilution de 1/20 000 cette substance inhibe diverses espèces de Pneumocoques, Streptocoques et Staphylocoques. A une dilution de 1/50 000 dans le milieu de Dubos, il inhibe différentes souches de *M. tuberculosis*; dans quelques expériences on trouve même une inhibition à la dilution de 1/2 000 000. Marshak observe aussi que *M. tuberculosis avium* est plus résistant à l'acide usnique que ne l'est *M. tuberculosis hominis*, en effet dans le milieu de Dubos il faut une concentration de 1/20 000 pour obtenir une inhibition, même partielle, de la souche *avium*. Marshak a utilisé son matériel en vue de protéger des cobayes contre des souches virulentes de *M. tuberculosis*. Il conclut de ses expériences qu'on peut administrer journellement, sans effet toxique, une dose de 25 à 50 mg par kg de poids du corps au moyen d'injections sous-cutanées de solutions dans l'huile. Administrée à des cobayes infectés par voie péritonéale avec la tuberculose humaine, cette dose retarde les progrès de la maladie [7]. Par la suite, Marshak [8] a identifié son matériel comme étant l'isomère dextrogyre de l'acide usnique.

En 1947 aussi Stoll et ses collaborateurs [9, 10] décrivent les résultats d'expériences portant sur 58 espèces de lichens dont 38 se sont montrées actives contre *S. aureus*; ils discutent de l'activité de l'acide usnique contre *Mycobacterium* et d'autres organismes (fig. 5). C'est là le premier travail mentionnant l'activité de *Cetraria islandica* (fig. 4), *Cladonia rangiferina*, *Lobaria pulmonaria*, et *Parmelia furfuracea* contre *S. aureus*. Ces auteurs décrivent aussi pour la première fois l'extraction de l'acide *d-l*-usnique à partir de *Cetraria islandica*, le rendement étant de 0,04%. Ils montrent que son activité antibactérienne est indépendante de son activité optique. Toutes les formes d'acide usnique inhibent les souches de *M. tuberculosis hominis* et *M. tuberculosis bovis* à des dilutions allant de 1/500 000 à 1/800 000. Ils montrent aussi que les acides vulpinique, *d*-protolichestérique, dihydrolichestérique, physodique et diffractique sont tous plus ou moins actifs contre le genre *Mycobacterium* et les bactériocoques Gram positifs. En 1947, Barry et ses collaborateurs [11] attirent l'attention sur l'activité antituberculeuse de l'acide usnique à des dilutions de 1/500 000. En 1948, Ciferri et Giacomini publient les résultats d'une étude de l'activité antibactérienne de 231 lichens différents.

Les recherches de l'auteur lui-même ont commencé avec la collaboration de A. Caballero vers la fin de 1947. Le but primitif était l'étude de l'activité de *Evernia furfuracea* et de *Evernia prunastri* sur *S. aureus*, *B. mycoides*, *B. licheniformis* et *M. phlei*. A partir de *Evernia furfuracea* nous avons isolé une fraction manifestant une activité antibactérienne et riche en ergostérol; à partir de *E. prunastri*, nous avons obtenu l'acide usnique [1]. Nous avons aussi étudié l'activité antibactérienne de *Usnea florida* (L.) Hoffm. et obtenu à partir de cette espèce l'acide *d*-usnique avec un rendement de 3,8 à 4,1% du poids sec. Nous avons expérimenté l'activité de cette substance contre *S. aureus* et *M. phlei*: quand on l'ajoute sous forme de fine poudre au bouillon de culture, *S. aureus* est inhibé à la dilution de 1/50 000 et *M. phlei* à celle de 1/100 000, *M. tuberculosis avium* cultivé en bouillon glycériné est complètement inhibé à 1/100 000 et partiellement à 1/200 000. Cependant dans le milieu de Dubos il faut atteindre de beaucoup plus fortes concentrations (1/20 000) pour retrouver l'effet inhibiteur; un effet similaire se manifeste avec *M. tuberculosis hominis*. En bouillon glycériné, celui-ci est inhibé à 1/500 000 mais en milieu de Dubos il faut atteindre une concentration décuple pour obtenir le même résultat. Quand on utilise la méthode de culture en surface avec le cylindre contenant de l'usnate de sodium on obtient de larges zones très claires avec des solutions à 1/10 000 sur *M. tuberculosis avium*. Nous avons aussi décrit la formation d'un précipité, supposé être de l'usnate de streptomycine, quand on ajoute de l'usnate de sodium en solution aqueuse au chlorhydrate de streptomycine. Cette substance que nous avons utilisée en suspension dans un tampon de phosphate ou dans l'huile, ou en solution dans le propylène glycol, se caractérise par son activité contre toutes les souches de *Mycobacterium* essayés, et, de plus, contre *E. coli* (fig. 1). Depuis la publication de ces résultats j'ai pu démontrer la présence de streptomycine dans ce précipité, en l'utilisant pour favoriser la croissance de souches de *E. coli* streptomycine-dépendantes (fig. 2). Par contre, la présence d'acide usnique dans le précipité est démontrée par le fait qu'il inhibe la croissance du champignon pathogène *Tricophyton*

mentagrophytes qui est sensible à l'acide usnique mais pas à la streptomycine (fig. 3).

Il est assez curieux de noter qu'au moment où ce type de recherches sur les lichens se poursuivaient en Europe et aux Etats-Unis des travailleurs japonais entraient indépendamment dans la même voie. En 1948, Shibata et ses collègues [12] ont publié les résultats de recherches sur l'activité antibactérienne de l'acide usnique lévogyre, dextrogyre et racémique et de quelques-uns de leurs dérivés parmi lesquels l'acide *l*-diacétylusnique, l'acide *d*-diacétylusnique, l'acide *l*-dihydro-usnique et l'acide *d*-diacétyldihydro-usnique. Leurs résultats sont exposés dans le tableau ci-dessous:

Dérivé	*Titre inhibiteur*	
	S. aureus	*M. tuberculosis avium*
Acide usnique ..	1/160 000–1/320 000	1/160 000
Acide *l*-diacétyl-usnique	1/10 000 –1/25 600	1/40 000
Acide *l*-dihydro-usnique	1/10 000 –1/25 600	1/40 000
Acide *d*-diacétyldi-hydro-usnique ..	1/6 400 –1/10 000	1/10 000

Ces résultats montrent que la double liaison et les radicaux hydroxyl contribuent dans une large mesure à l'activité antibactérienne de l'acide usnique. Marshak et ses collègues ont confirmé depuis que toute altération majeure de la molécule d'acide usnique réduit ou détruit son activité.

Shibata et ses collègues mentionnent l'usage de *Usnea longissima*, en Chine, comme expectorant et pour le traitement local des ulcères. Ils rapportent aussi que, depuis plus de 50 ans, la teinture de *Usnea* sp. est utilisée avec succès dans le traitement de la lymphadénite tuberculeuse. Dans une publication postérieure, Shibata et Miura [13] décrivent leurs recherches sur l'action de 23 produits tirés des lichens contre *S. aureus* et *M. tuberculosis avium*. Il s'agit de substances de structures chimiques très variées comprenant des acides lactones de la série grasse, des depsides, des depsidones et un dérivé anthraquinonique. Ils ont aussi trouvé un grand pouvoir antibactérien à certains dérivés tétroniques tels que l'acide protolichestérique et à certains depsides et depsidones dérivés de l'orcinol. Enfin, [14] ils signalent que l'acide didymique et un de ses dérivés sont actifs contre les bactéries Gram positives; ces substances contiennent le noyau dibenzofurane.

En 1948, Klosa [15] donne la description des propriétés antibactériennes d'une substance qu'il nomme évosine, dérivée d'une Usnéacée. L'évosine est en fait un mélange d'acide usnique, d'acide évernique et de deux autres substances non identifiées; elle est très active à la fois contre les staphylocoques et les streptocoques et inhibe la croissance de *M. tuberculosis* à la dilution de 1/2 000 000. Klosa établit que l'acide évernique inhibe les mêmes organismes à des dilutions de 1/1 000 000. Dans des publications postérieures [16, 17] il indique que l'usage clinique de l'évosine a été couronné de succès dans le cas de diverses maladies de peau telles que le lupus vulgaire, la furonculose et l'impétigo ainsi que dans le traitement de la mastite bovine.

Vartia [18] écrit qu'en Finlande on utilise traditionnellement comme remède contre la tuberculose des extraits aqueux chauds de lichens des rennes (*Cladonia alpestris*, *Cladonia rangiferina*, ou *Cladonia sylvatica*). Sur 82 espèces de lichens étudiées il trouve de l'acide usnique dans 22. Ces 22 espèces sont toutes actives contre *Sarcina aurea*, *S. aureus*, *Strep. pyogenes*, *B. subtilis* et *B. megatherium*. La majorité est aussi active contre *Corynebacterium diphtheriae*. Il cite aussi 20 espèces de lichens qui inhibent *P. vulgaris* et généralement aussi *E. coli*; neuf de ces espèces contiennent de l'atranorine. A partir de l'atranorine il obtient un dérivé cristallisé qui inhibe *Proteus vulgaris* à la dilution de 1/10 000.

Dans une étude sur l'activité antibactérienne de *Cetraria islandica*, Vartia le trouve actif contre *Sarcina aurea*, *S. aureus*, *Strep. pyogenes*, *E. coli*, *P. vulgaris* et *B. megatherium*. Suivant Vartia, *Cladonia rangiferina* n'attaque pas ces organismes, ceci étant d'accord avec la constatation d'Evans et Burkholder [3] que *S. aureus* et *B. subtilis* ne sont pas attaqués par ce lichen. Cependant Stoll *et al.* ont trouvé que *S. aureus* était inhibé. Suivant les propres expériences de Vartia, *Cladonia rangiferina* récolté à Huvudskär (Suède) inhibe *B. mycoides*, *M. tuberculosis avium* et *M. paratuberculosis Grassberger*. Vartia note un antagonisme entre les lichens et les champignons suivants:

Antagonisme champignon-lichen	
Lichen	*Champignon*
Cetraria glauca *Parmelia stenophylla* *Evernia prunastri* *Usnea dasypoga* *Alectoria sarmentosa*	*Actinomyces sulfuroides* *Tricophyton farineculatum* *Tricophyton interdigitalis* *Epidermophyton inguinale*

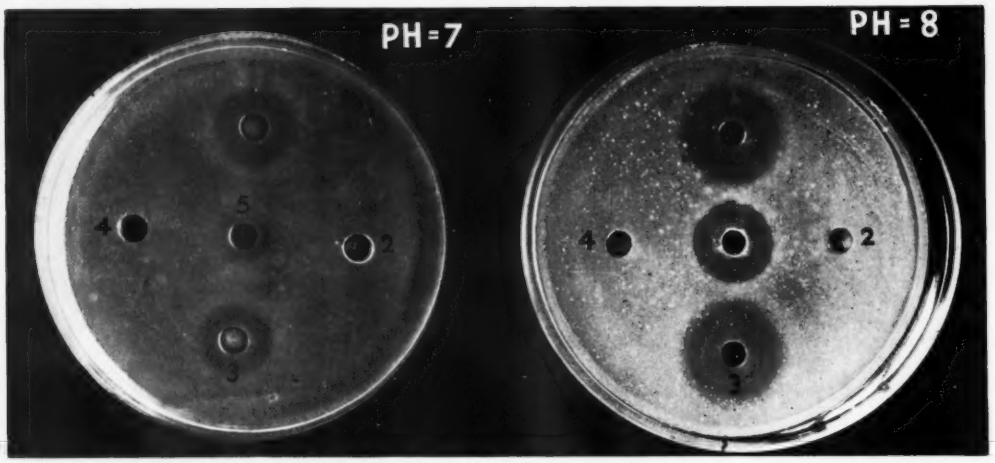


FIGURE 1 – *Effet du* pH *sur l'activité de streptomycine et de l'usnate de streptomycine.* (1) *et* (3) *contiennent une solution à* 0,1% *d'usnate de streptomycine en tampon de phosphate;* (2) *contient une solution à* 0,1% *d'usnate de sodium;* (4) *contient une suspension à* 0,1% *d'acide usnique et* (5) *contient une solution aqueuse de streptomycine à* 5 *unités par* cm^3. *La bactérie test est* E. coli.

FIGURE 2 – *Ensemencement en surface avec une souche de* E. coli *streptomycine-dépendante.* (1) *et* (3) *contiennent une solution à* 0,1% *d'usnate de sodium,* (2) *et* (4) *contiennent une suspension à* 0,1% *d'usnate de streptomycine et* (5) *contient une solution aqueuse de streptomycine à* 8 *unités par* cm^3.

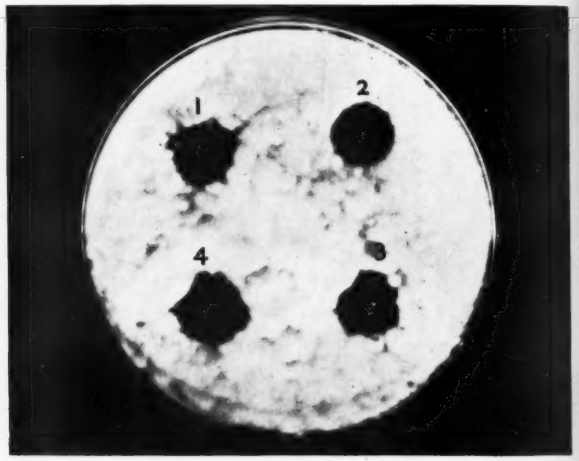


FIGURE 3 – *Ensemencement en surface avec* Tricophyton mentagrophytes. *Tous les trous ont été remplis d'une solution à* 0,1% *d'usnate de sodium.*

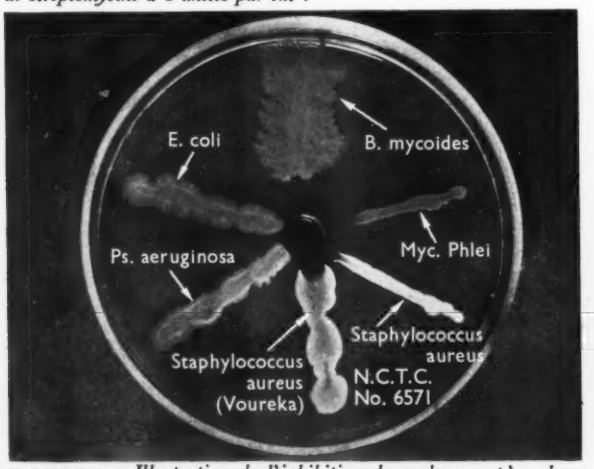


FIGURE 4 – *Illustration de l'inhibition de quelques espèces bactériennes par un extrait brut de* Cetraria islandica. *Noter que* E. coli *et* Ps. aeruginosa *ne sont pas inhibées du tout.*

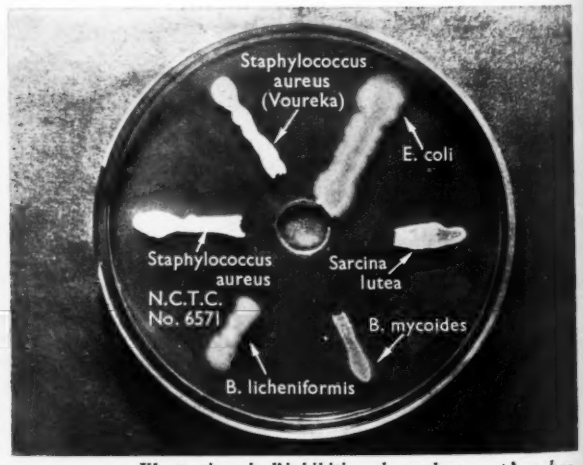


FIGURE 5 – *Illustration de l'inhibition de quelques espèces bactériennes par une solution à* 0,1% *d'usnate de sodium.* S. aureus (*Voureka*) *est une souche résistante à la pénicilline. Noter que* E. coli *n'est pas inhibé du tout.*

nen-
,1%

bac-
reus
e E.

Vartia déclare aussi [19] que les sels de sodium des acides protolichestérique, divaricatique et physodique sont actifs contre les bactéries Gram positives. Il confirme également (communication privée), l'observation de Marshak sur le retard apporté au développement de la tuberculose chez le cobaye.

Plus récemment, Marshak et Kuschner [20] ont publié les résultats d'expériences sur la valeur thérapeutique de l'acide usnique et de la streptomycine pour le traitement de la tuberculose. Ils concluent que bien que les résultats obtenus montrent que la streptomycine seule employée en doses suffisamment fortes soit plus efficace que l'acide usnique, l'action synergique observée entre les deux drogues fait qu'on peut espérer limiter, par leur action combinée, le développement de la résistance qui reste toujours un sérieux problème en thérapeutique.

Malgré la quantité considérable de travaux que l'on vient de passer en revue ici et qui ont abouti à la découverte de plusieurs substances antibactériennes nouvelles sur lesquelles on fonde beaucoup d'espoir (l'acide usnique est la mieux connue actuellement) on ne sait pas encore si ces substances sont produites par les lichens eux-mêmes ou par les moisissures symbiotiques associées dans les lichens. Ashly, par exemple, a trouvé que le monométhylester d'émodine obtenu par Raistrick et ses collaborateurs [21] à partir d'*Aspergillus glaucus* est identique au produit qu'il appelle «physcion» (= pariétine) extrait de *Xanthoria parietina*. Thomas [22] indique que les cultures pures de *Caloplacomyces*, champignon symbiote de beaucoup de lichens du genre *Caloplaca* et aussi les cultures pures de *Xanthoriomyces parietinae* symbiote du lichen *Xanthoria parietina* peuvent produire le physcion. A partir du champignon *Candelariellomyces vitellinae*, il a isolé une substance appelée stictaurine. Avant ces travaux, aussi bien stictaurine que physcion étaient considérés comme des produits de lichens plutôt que de champignons. Castle et Kubsch [23] ont isolé les acides usnique, didymique, et rhodocladonique du champignon symbiote de *Cladonia cristatella*.

Il est évidemment du plus grand intérêt, vu les résultats déjà obtenus et l'urgent besoin de substances actives contre les bactéries Gram négatives, de continuer l'étude systématique de l'activité antibactérienne et antifongique des milliers d'espèces connues de lichens. Une précaution importante à prendre est de s'assurer qu'il s'agit bien d'espèces pures et non d'un mélange d'espèces. De plus, il est nécessaire de préparer et d'examiner des cultures pures des champignons symbiotes de ces lichens qui peuvent nous fournir des substances ayant un usage pratique. Il se peut que les champignons symbiotes des lichens se révèlent être une source importante de nouveaux antibiotiques, dont quelques-uns pourront s'ajouter à ceux que nous avons déjà fait rentrer dans la pratique médicale. D'un autre côté, les lichens eux-mêmes peuvent être une source de substances nouvelles également utiles.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Bustinza, F., et Caballero, A. *An. Jard. Bot. Madrid*, **7**, 511, 1948.

[2] Burkholder, P. R., Evans, A. W., McVeigh, I., et Thornton, H. K. *Proc. Nat. Acad. Sci. Wash.*, **30**, 9, 250, 1944.

[3] Burkholder, P. R., et Evans, A. W. *Bull. Torrey bot. Cl.*, **72**, 2, 157, 1945.

[4] Barry, V. C., et McNally, P. A. *Nature*, **156**, 48, 1945.

[5] Barry, V. C. *Ibid.*, **158**, 131, 1946.

[6] Bargellini, G., del Pianto, E., et Marini-Bettolo, G. B. *Atti Accad. Naz. Lincei*, **1**, 12, 1252, 1946.

[7] Marshak, A. *Publ. Hlth Rep.*, **62**, 1, 3, 1947

[8] Marshak, A., Barry, G. T., et Craig, L. C. *Science*, **106**, 394, 1947.

[9] Stoll, A., Renz, J., et Brack, A. *Experientia*, **3**, 3, 111, 1947.

[10] Stoll, A., Brack, A., et Renz, J. *Ibid.*, **3**, 3, 115, 1947.

[11] Barry, V. C., O'Rourke, L., et Twomey, D. *Nature*, **160**, 800, 1947.

[12] Shibata, S., Ukita, T., Tamura, T., et Miura, Y. *Jap. Med. J.*, **1**, 2, 152, 1948.

[13] Shibata, S., et Miura, Y. *Ibid.*, **1**, 6, 518, 1948.

[14] Shibata, S., Miura, Y., Sugimura, H., et Toyoizumi, Y. *J. Pharm. Soc. Japan*, **68**, 47, 1948.

[15] Klosa, J. *Naturwiss.*, **9**, 288, 1948.

[16] *Idem. Sonderabdr. Pharmaz. Zentralh.*, **88**, 6, 165, 1949.

[17] *Idem. Sonderabdr. Berl. Münch. tierärztl. Wschr.*, **7**, 89, 1949.

[18] Vartia, K. O. *Ann. Med. Exper. Biol. Fenniae*, **27**, 1, 46, 1949.

[19] *Idem. Ibid.*, **28**, 1, 7, 1950.

[20] Marshak, A., et Kuschner, M. *Publ. Hlth Rep.*, **65**, 5, 131, 1950.

[21] Raistrick, H. *Ergebn. Enzymforsch.*, **7**, 316, 1938.

[22] Thomas, E. A. *Beitr. Kryptogamenfl. Schweiz*, **9**, 1, 1939.

[23] Castle, H., et Kubsch, F. *Arch. Biochem.*, **23**, 1, 158, 1949.

La perméabilité des tissus animaux

G. M. WYBURN et P. BACSICH

Description des éléments et des propriétés des tissus; ceux-ci ont pour substances fondamentales des polysaccharides: acide hyaluronique et esters sulfuriques. Exposé des fonctions des mucopolysaccharides, et description de l'enzyme hyaluronidase (qui est probablement un complexe de plusieurs enzymes mucolytiques), facteur de diffusion qui augmente la perméabilité des tissus. Suit une étude de la formation de l'acide hyaluronique et de l'hyaluronidase et de leurs effets pathologiques.

Les éléments structuraux des différents tissus du corps sont les cellules, les fibres et la substance intercellulaire. Les tissus épithéliaux en tapissent les surfaces internes et externes et forment l'élément fonctionnel des glandes. Ils se présentent sous forme de lames ou de colonnes de cellules soudées les unes aux autres par une petite quantité de substance ou ciment intercellulaire. Les tissus conjonctifs forment les organes de soutien du corps tels que les os, les cartilages, les tendons et les ligaments; ils comprennent aussi différents types de tissus de texture dense ou lâche formant les séreuses et le tissu d'emballage du corps. Ces tissus conjonctifs comportent des proportions variées de cellules, de fibres et de substance intercellulaire ou fondamentale. Les cellules y sont généralement isolées et peuvent être très dispersées par exemple dans les os. Les fibres peuvent former un réseau lâche à larges mailles comme dans le tissu aréolaire ou se grouper en faisceaux formant un feutrage dense qui masque les cellules et la substance intersticielle comme dans les tendons et les ligaments. La substance intersticielle ou fondamentale des tissus conjonctifs présente généralement une consistance semi-fluide de viscosité variable mais peut se présenter sous une forme solide, par exemple la matrice de l'os, durcie par incorporation de sels minéraux.

La peau comprend (*a*) un épithélium externe, l'épiderme, formé de cellules et d'une très faible quantité de substance fondamentale; (*b*) un tissu conjonctif plus épais, le derme, où des cellules et des fibres sont noyées dans une substance fondamentale plus abondante. Sur la plus grande partie du corps, la peau se meut librement sur le tissu sous-cutané lâche sous-jacent formé de cellules et de fibres dispersées dans une abondante substance fondamentale.

La perméabilité des tissus est une propriété physique passive, distincte des activités vitales de la cellule de sécrétion et d'absorption, elle est conditionnée par la quantité et la consistance de la substance fondamentale présente dans le tissu. Les tissus épithéliaux à cause de leur faible teneur en ciment intercellulaire présentent une perméabilité faible alors que les tissus les plus perméables sont ceux qui possèdent peu de cellules et de fibres et une grande quantité de substance fondamentale de faible viscosité, par exemple le tissu sous-cutané. Le tissu conjonctif, en général, offre une résistance considérable à la pénétration des fluides étrangers et cette résistance fournit une mesure de sa perméabilité.

Il existe de profondes différences entre les perméabilités des différents tissus et même entre les perméabilités d'un même tissu, par exemple la peau, pris dans les différentes régions d'un même individu. On note aussi des différences considérables de la perméabilité des tissus entre les individus, différences conditionnées jusqu'à un certain point par le sexe, l'âge, l'activité hormonale, plus particulièrement par les hormones sexuelles et les vitamines, surtout la vitamine C.

Chimiquement la substance fondamentale du tissu conjonctif, et probablement aussi le ciment intercellulaire des tissus épithéliaux, appartient au groupe des complexes hydrates de carbone-protéines connus sous le nom de mucopolysaccharides. Les substances glycoprotidiques remplissent des fonctions importantes dans beaucoup d'aspects de l'économie animale, par exemple elles fournissent des réactions d'immunité et on les rencontre dans les systèmes enzymatiques; leurs propriétés particulières sont dues à la présence de liaisons assurées par des protéines ou des résidus peptidiques. Les mucopolysaccharides ont une faible proportion de protéines et sont surtout formées d'hydrates de carbone. Leurs solutions aqueuses ont une grande viscosité et ils tendent à devenir insolubles dans l'eau après déshydratation.

Les mucoprotéines forment un autre groupe de composés protéines-hydrates de carbone. De teneur

relativement élevée en protéines ils présentent les réactions des protéines d'une manière prédominante. On peut extraire des mucoprotéines de la glande pituitaire (hormones gonadotropes), de la salive, du sérum et du protoplasme des Méduses. Les mucopolysaccharides de la substance fondamentale des tissus sont l'acide hyaluronique et des esters sulfuriques: acide chondroïtine sulfurique, acide mucoïtine sulfurique, acide hyaluronique sulfurique (qui est un acide mucoïtine sulfurique); ils contiennent de l'hexosamine et un acide uronique. Toutes ces substances et leurs composés peuvent se rencontrer dans un type particulier de tissu.

L'héparine, anticoagulant naturel du sang, largement répandu dans le corps et particulièrement dans le foie est un mucopolysaccharide particulièrement riche en esters sulfuriques. Les tissus dont la substance fondamentale contient des esters sulfuriques de mucopolysaccharides prennent les colorants métachromatiques tels que les bleus de méthylène ou de toluidine. L'acide hyaluronique libre ne donne pas cette réaction histochimique. L'acide hyaluronique, présent parmi d'autres mucopolysaccharides dans la substance fondamentale du tissu conjonctif, est très abondant dans l'humeur vitrée à consistance de gelée qui remplit la plus grande partie de la cavité de l'œil, dans le cordon ombilical qui relie l'embryon au placenta, et dans la synovie qui joue le rôle de lubrifiant dans la cavité des séreuses des articulations. L'acide hyaluronique sulfurique est le mucopolysaccharide de la substance fondamentale de la cornée, couche protectrice transparente située à l'avant de l'œil; il est responsable de la coloration métachromatique de celle-ci. L'acide chondroïtine sulfurique est le plus facilement accessible des mucopolysaccharides naturels; c'est un des constituants majeurs de la substance fondamentale du cartilage, des tendons, des gros vaisseaux sanguins et du tissu conjonctif en général qui donc prennent les colorants métachromatiques.

Les mucopolysaccharides ont un rôle architectural dans les tissus. La manière la plus économique d'augmenter la masse et la viscosité d'un organe consiste à polymériser des hexoses et à les imbiber d'eau de manière à obtenir un milieu réfringent comme l'humeur vitrée de l'œil et le liquide synovial des articulations ou encore la substance des espaces intercellulaires.

On a suggéré que les cellules conjonctives sécréteraient dans les espaces interstitiels de l'acide hyaluronique et un acide chondroïtine sulfurique, plus un précurseur du collagène. Par acidification locale des espaces intercellulaires, se formeraient alors les premières fibres dues à l'action des polysaccharides sur le collagène, les polysaccharides formant une couche à la surface des fibres. La production de mucopolysaccharides est probablement un processus continu dans l'activité métabolique de tissus tels que la peau.

Toute substance agissant chimiquement sur le mucopolysaccharide altère la nature physique de la substance fondamentale et affecte donc sa viscosité et aussi sa perméabilité. On a découvert dans les tissus animaux certaines enzymes mucolytiques agissant sur les mucopolysaccharides. Elles brisent les liaisons chimiques des grosses molécules asymétriques de polysaccharides. La première phase de ce processus est une dépolymérisation et la scission finale est une hydrolyse. Cette réduction en molécules plus simples se traduit par une modification physique de la substance fondamentale qui devient moins visqueuse et plus perméable. L'enzyme dont le substrat est l'acide hyaluronique est connue sous le nom d'hyaluronidase mais son action n'est pas spécifique car elle peut aussi agir sur les esters sulfuriques de mucopolysaccharides. Il est probable que l'hyaluronidase est en fait un complexe de nombreuses enzymes mucolytiques. A cause de leur remarquable pouvoir d'accroître la perméabilité des tissus on désigne généralement ces enzymes sous le nom de «facteurs de diffusion».

L'hyaluronidase se trouve dans de nombreux tissus et organes et l'on a pu démontrer l'activité enzymatique de diffusion d'extraits d'organes tels que le testicule, la rate, les procès ciliaires et l'iris. Le venin de serpent comme celui d'abeille possède une activité de diffusion; certaines bactéries pathogènes produisent aussi des facteurs de diffusion. *In vitro* les enzymes mucolytiques semblent agir en trois temps: (*a*) séparation d'un résidu protéinique, (*b*) dépolymérisation rapide du polysaccharide avec diminution de la viscosité des solutions aqueuses et (*c*) hydrolyse partielle ou complète avec libération de N-acétyl-*D*-glucosamine et d'acide *D*-glycuronique. On peut suivre cette activité *in vitro* par des méthodes physicochimiques dont trois ont été décrites:—

1. *Méthode d'abaissement de la viscosité.* On définit l'unité d'enzyme comme la quantité requise pour réduire la viscosité du substrat de 50% en 30 minutes.
2. *Méthode par empêchement de la formation d'un floculat de mucine.* L'acide hyaluronique en solution acide précipite avec les protéines en donnant un floculat de mucine typique.

L'hyaluronidase réduit d'abord le floculat puis le redissout.

3. *Méthode turbidimétrique*. Cette méthode est basée sur le fait que l'acide hyaluronique dépolymérisé donne avec le sérum dilué une solution claire tandis que l'hyaluronate pur donne des solutions troubles.

In vivo on peut mesurer l'activité par la réaction de diffusion. On injecte sous la peau un colorant ou de l'encre de Chine. Normalement, après une telle injection, il reste une vésicule et l'encre diffuse très lentement. Si l'on injecte en même temps de l'hyaluronidase ou un autre facteur de diffusion la vésicule se résoud immédiatement et l'encre se répand dans la peau comme une goutte de liquide sur un buvard. Si l'on tue l'animal, généralement un lapin, 20 minutes après l'injection la dose minimum de facteur de diffusion décelable correspond à la plus petite quantité d'enzyme produisant un accroissement de 20% de la surface d'expansion. Si l'on tue l'animal 24 heures après l'injection, on s'aperçoit que l'encre a pénétré dans les aponévroses et même dans les muscles sous-jacents au point d'injection. On peut obtenir la réaction de diffusion avec d'autres agents non spécifiques.

On a extrait l'acide hyaluronique des humeurs aqueuse et vitrée de l'œil chez différents animaux, et l'hyaluronidase des procès ciliaires et de l'iris. Nous avons quelques raisons de penser qu'il se forme constamment, dans l'œil, de l'acide hyaluronique qui serait détruit simultanément par hydrolyse enzymatique. Il est tout à fait possible que ce mécanisme soit relié, d'une manière quelconque, au maintien de la pression interne de l'œil. Un accroissement anormal de la pression intra-oculaire dont on connaît des cas, par exemple dans les glaucomes, pourrait être relié à quelque déséquilibre dans le système acide hyaluronique-hyaluronidase. Le polysaccharide de la substance fondamentale de la cornée (acide hyaluronique sulfurique) présente une coloration métachromatique due au radical sulfurique. Les milieux réfringents de l'œil (cornée, cristallin, humeurs aqueuse et vitrée) n'ont pas de vascularisation et le processus continuel de formation et de dégradation des polysaccharides de leur substance fondamentale pourrait alors avoir une signification nutritielle. On peut obtenir, à partir de la peau, de grandes quantités d'acide hyaluronique et d'acide chondroïtine sulfurique. On y trouve aussi une forte teneur en hyaluronidase ce qui suggère pour l'acide hyaluronique une production et une destruction simultanée tout à fait rapide. On a montré qu'après injection de facteur de diffusion, la peau reforme de l'acide hyaluronique, la restauration étant complète au bout de 48 heures. Cette production d'acide hyaluronique est influencée par certaines hormones. Par exemple, il se produit dans la peau sexuelle des singes des modifications cycliques qui correspondent au cycle sexuel et ces modifications impliquent des variations qualitatives et quantitatives des polysaccharides de la peau. Dans la peau sexuelle turgescente d'un Babouin durant le cycle menstruel il n'existe pas de liquide à l'état libre, mais l'eau y est liée à l'acide hyaluronique. On peut reproduire expérimentalement ces modifications par injection de l'hormone appropriée.

On peut obtenir l'hyaluronidase à partir d'extraits de testicule, la source normale étant le testicule de taureau. On sait maintenant que l'hyaluronidase se forme dans les tubes séminifères du testicule où les spermatozoïdes font leur maturation et qu'elle s'accumule dans ceux-ci. Quand il tombe dans la trompe de Fallope, l'ovule possède une enveloppe de cellules folliculaires réunies par une substance visqueuse. Avant que la cellule mâle puisse pénétrer dans l'ovule et le féconder il faut que disparaisse cette enveloppe de cellules folliculaires. Un seul spermatozoïde féconde l'ovule, mais un grand nombre s'accumulent au voisinage et libèrent l'enzyme préformée. D'une manière générale, la concentration en hyaluronidase est liée au nombre de spermatozoïdes présents. La substance qui agglutine la masse des cellules folliculaires autour de l'ovule est un mucopolysaccharide. L'hyaluronidase agit sur ce polysaccharide pour disperser ces cellules et ainsi permettre la fécondation de l'ovule par le spermatozoïde. Sans fécondation, c'est-à-dire en l'absence d'hyaluronidase, ces cellules adhèrent à l'ovule de 6 à 8 heures tandis qu'à la suite d'une fécondation, c'est-à-dire en présence d'hyaluronidase, elles se dispersent en 2 heures environ. Les travaux modernes ont montré que la viabilité de l'ovule est probablement de quelques heures seulement. Il est donc très important que la fécondation ne se trouve pas retardée. L'absence d'hyaluronidase dans les testicules d'oiseaux, d'amphibiens et de reptiles est corrélative de l'absence de toute capsule de cellules folliculaires entourant l'ovule.

Il est possible que la déficience d'hyaluronidase soit parfois une cause de stérilité mâle. Cette stérilité est probablement due au petit nombre des spermatozoïdes mais la déficience de l'enzyme qui les accompagne peut être le facteur déterminant. Dans de tels cas, on a fait des essais en vue d'assurer la fécondation en ajoutant au sperme

FIG
prés
sém
inte
à p
son
don
plu
féc
par
pet
Les
vist
pro

FI
es
ét
st
ce
p
m
br
en
ti
se
es
el
a
d
d
h

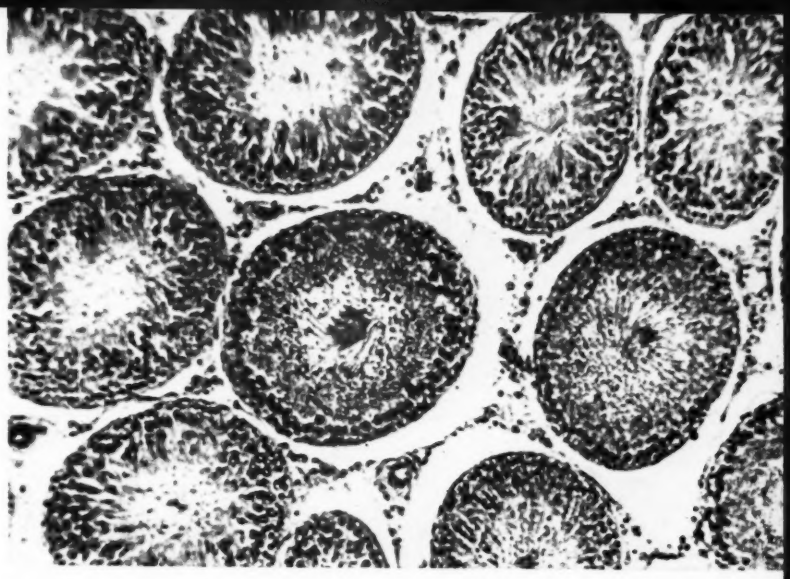


FIGURE 1 – *Coupe de testicule. Dans le champ se présentent les sections transversales de plusieurs tubes séminifères, la plupart montrant une spermatogénèse intense (production de cellules germinales mâles). Mise à part cette fonction les cellules des tubes séminifères sont aussi responsables de la production d'hyaluronidase dont la présence est nécessaire dans le sperme de la plupart des mammifères à l'accomplissement de la fécondation. Cette enzyme est probablement produite par les cellules de Sertoli ou nourricières dispersées en petit nombre parmi les éléments germinaux des tubes. Les petits groupes de cellules (cellules intersticielles) visibles dans le tissu conjonctif lâche entre les tubes produisent l'hormone mâle.* (× 110)

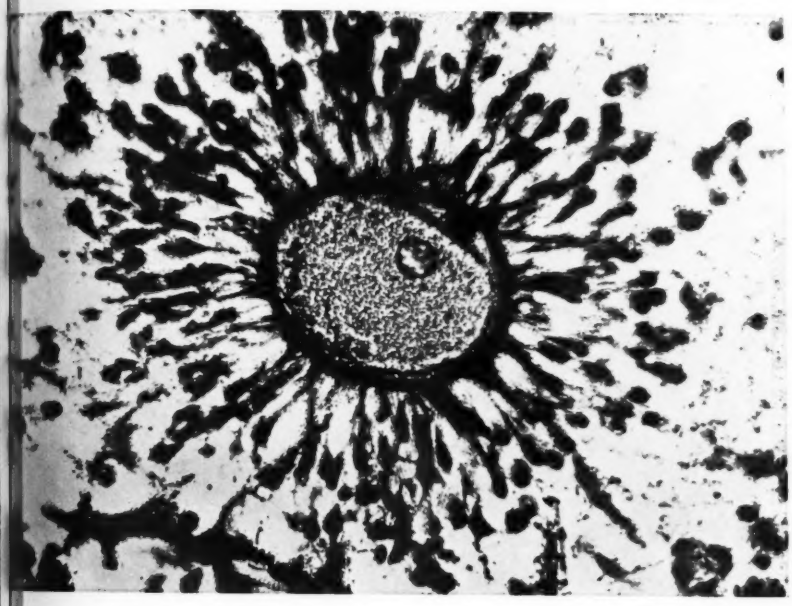


FIGURE 2 – *Coupe d'un ovule récemment émis (cellule germinale femelle). L'ovule à ce stade est entouré de plusieurs couches de petites cellules dérivées du follicule ovarien. Comme ces cellules empêcheraient la fécondation elles sont graduellement dispersées par hydrolyse enzymatique de la substance intercellulaire sous l'action de l'hyaluronidase apportée par les spermatozoïdes.* (× 300)

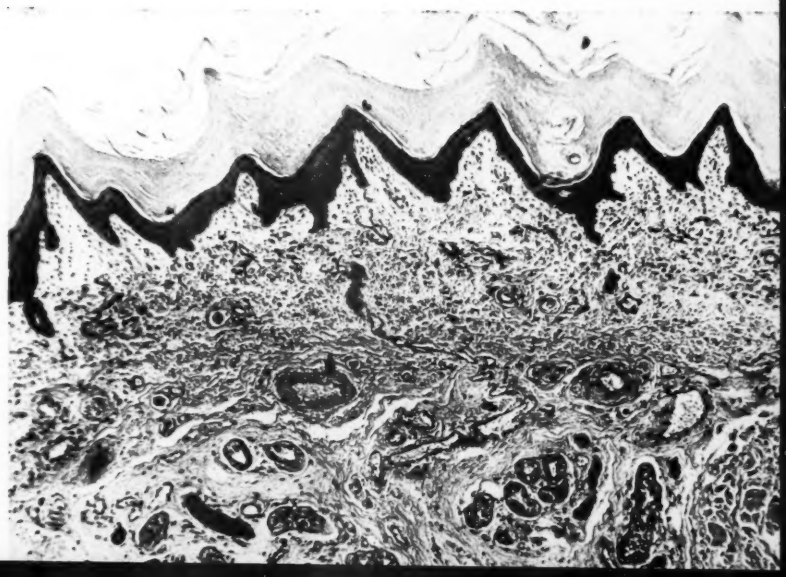


FIGURE 3 – *Coupe de peau. La surface de la peau est recouverte de plusieurs couches de cellules épithéliales étroitement accolées (épiderme) avec très peu de substance intercellulaire. Les couches supérieures de ces cellules sont cornées et l'épiderme protège donc les parties molles sous-jacentes (derme) des atteintes mécaniques et chimiques. La derme contient de nombreuses cellules conjonctives et des fibres conjonctives enrobées dans une gelée d'acide hyaluronique. La quantité de cette substance fondamentale (acide hyaluronique) se trouve notablement réduite dans les cas de goitres exophtalmiques (activité accrue de la glande thyroïde) et la peau devient alors plus mince. Dans le myxœdème (fonctionnement réduit de la glande thyroïde) il y a accumulation d'acide hyaluronique dans la peau qui devient plus épaisse. Ces faits démontrent l'importance de la glande thyroïde dans le rapport acide hyaluronique-hyaluronidase.* (× 52)

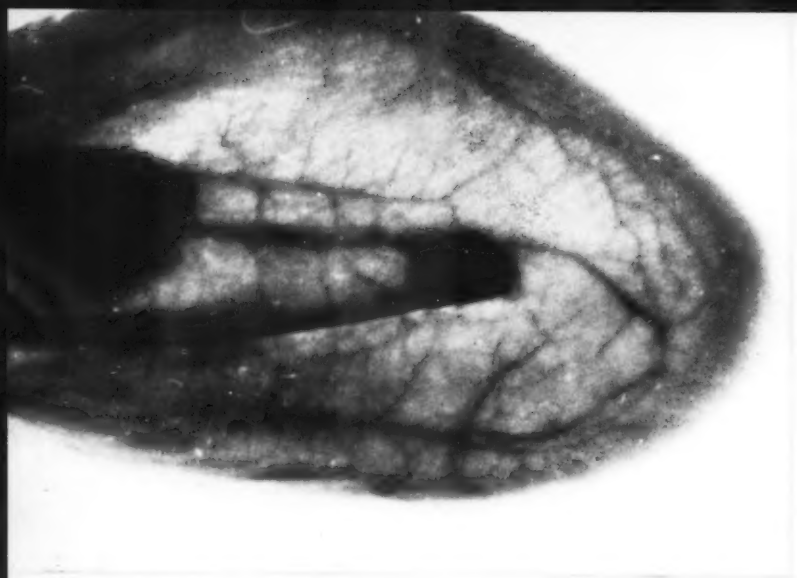


FIGURE 4 – *Photographie d'une oreille de lapin éclairée par transparence et destinée à illustrer l'effet de diffusion produit par l'hyaluronidase 20 minutes après l'injection sous-cutanée de quantités égales d'encre de Chine. La plus petite des deux taches noires résulte d'une injection d'encre de Chine diluée dans une solution saline physiologique tandis que la plus large est due à l'injection d'encre diluée dans une solution d'hyaluronidase.* (× 1,125)

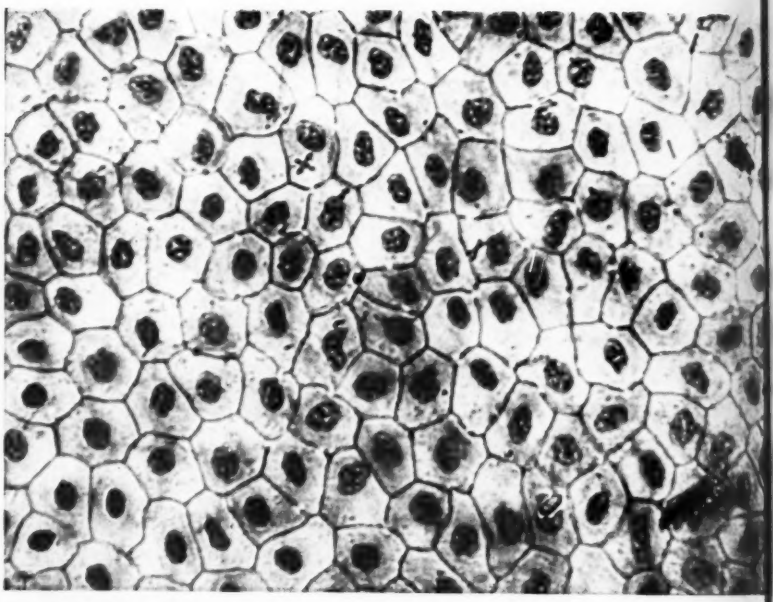


FIGURE 5 – *Vue superficielle des cellules endothéliales de la surface postérieure de la cornée. La substance intercellulaire (spécialement colorée) forme seulement une fine couche de ciment entre cellules voisines. La surface antérieure de la cornée est recouverte de plusieurs couches de cellules épithéliales. La majeure partie de la cornée est formée par une gelée d'acide hyaluronique sulfurique dans laquelle sont enrobées des cellules et des fibres cornéennes dispersées. Il n'y a pas de vaisseaux sanguins dans la cornée, le mucopolysaccharide (acide hyaluronique sulfurique) maintient une nutrition sans vascularisation.* (× 225)

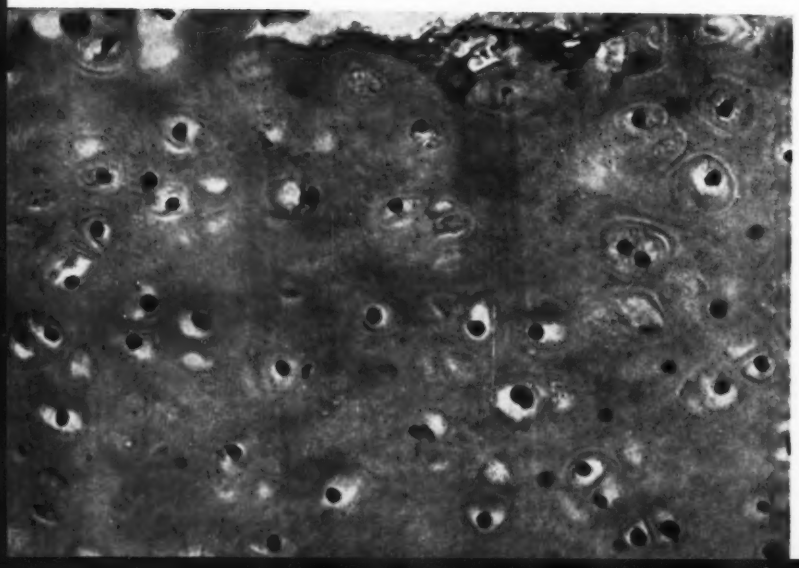


FIGURE 6 – *Coupe de cartilage hyalin. La substance fondamentale est principalement formée d'un mucopolysaccharide, l'acide chondroïtine sulfurique. Dans cette substance fondamentale sont enrobées un petit nombre de cellules cartilagineuses à noyaux ronds colorés en sombre et aussi des fibres préformées. Ces dernières sont invisibles à cause de l'identité de leur indice de réfraction avec celui de la substance fondamentale. Observer aussi, comme dans le cas de la cornée l'absence complète de vaisseaux sanguins. L'hyaluronidase ou quelque enzyme étroitement apparentée agissant sur l'acide chondroïtine sulfurique doit régler le métabolisme de ce tissu avasculaire. Il y a des raisons de penser que ce sont des troubles du rapport enzyme-substrat qui sont la cause sous-jacente de beaucoup de désordres rhumatismaux affectant les cartilages et les séreuses des articulations.* (× 262)

de lapin
l'effet de
ites après
l'encre de
es résulte
e solution
est due à
yaluroni-

ance
poly-
ette
bre
en
res
de
le.
nce
ou
ur
me
ue
nt
a-
es

l'hyaluronidase qui lui manque, et il y a eu, dit-on, des réussites.

Les maladies rhumatismales, fièvres rhumatismales aigües, arthrite rhumatismale et un grand nombre de variétés et de degrés de maladies des tissus fibreux groupés sous le nom de rhumatismes, comportent comme lésions essentielles des modifications pathologiques des tissus conjonctifs. Ces modifications comprennent des altérations qualitatives et quantitatives des mucopolysaccharides de la substance fondamentale. Dans les maladies articulaires, le liquide synovial contient un excès d'acide hyaluronique. Dans cette voie, des travaux récents ont montré que la cortisone (composé E, stéroïde extrait du cortex des capsules surrénales) et l'hormone corticotrope (sécrétion de la glande pituitaire qui contrôle la sécrétion de la cortisone) peuvent agir en protégeant les tissus conjonctifs contre les effets de tout facteur responsable de conditions dans lesquelles la chimie normale des mucopolysaccharides s'altère. Des altérations des mucopolysaccharides forment aussi une part importante de la pathologie du vieillissement et du durcissement des artères.

Certains types de bactéries pathogènes manifestent la propriété d'accroître la perméabilité des tissus (activité de diffusion) particulièrement les pneumocoques et les streptocoques hémolytiques qui sécrètent un facteur de diffusion analogue à l'hyaluronidase.

La perméabilité des tissus conjonctifs contrôle en partie l'extension des infections et le degré d'invasion de l'organisme par les germes pathogènes. Jusqu'à un certain point, cette perméabilité permet donc de déterminer la susceptibilité à l'infection. Un animal qui présente une grande perméabilité tissulaire sera plus susceptible vis-à-vis d'une infection quelconque à laquelle est exposée l'espèce, et vice-versa. L'expérience montre, par exemple, que de jeunes hôtes, à perméabilité tissulaire plus grande, font souvent une infection plus grave que les adultes. Ce n'est naturellement là qu'un des facteurs de la réaction à la maladie.

L'acide hyaluronique et probablement aussi les autres mucopolysaccharides, ne sont pas des antigènes. Injectés à l'animal, ils ne provoquent pas de réaction d'immunité, c'est-à-dire ne suscitent pas la mise en jeu des mécanismes normaux de défense, dont fait partie la production d'anticorps, au moyen desquels l'organisme combat l'invasion de substances étrangères. Certaines bactéries possèdent une coque externe formée de ces mucopolysaccharides non antigènes et ceci leur confère une protection temporaire contre les réactions cellulaires et chimiques de l'hôte. Pendant cette période, les bactéries prospèrent et la présence de cette capsule de mucopolysaccharides augmente donc beaucoup leur virulence.

Au contraire des mucopolysaccharides, les enzymes telles que l'hyaluronidase sont antigéniques et provoquent la formation d'antisérums capables de supprimer *in vivo* et *in vitro* l'activité de l'enzyme. Par exemple, si l'on injecte à un lapin des extraits de testicule de taureau, contenant de grandes quantités d'hyaluronidase, on pourra retirer de ce lapin un sérum supprimant l'activité de diffusion des extraits d'hyaluronidase et empêchant l'hydrolyse de l'acide hyaluronique. Ces antisérums sont spécifiques vis-à-vis des extraits qui les ont produits. Quelques effets thérapeutiques des antisérums en général pourraient bien être dus, au moins partiellement, à ces propriétés antidiffusion. Il est aussi possible que certains types de stérilité attribués jusqu'ici à des réactions d'immunité du sperme, soient en réalité dus à la formation d'anticorps actifs contre l'hyaluronidase. Dans certains de ces cas on a cherché à mettre en évidence une action inhibitrice du sérum sur l'hyaluronidase extraite des testicules de taureau; les résultats ont été négatifs. Si l'on considère la spécificité d'espèce de l'hyaluronidase ces résultats sont peu significatifs et il faudrait étudier l'action de ces sérums sur l'hyaluronidase extraite de testicules humains.

On a utilisé l'hyaluronidase en thérapeutique pour faciliter et activer l'absorption de liquides par le tissu sous-cutané; il existe normalement une résistance considérable des tissus qui limite la vitesse avec laquelle on peut injecter le liquide. Des injections préalables d'hyaluronidase ont donné une accélération de l'absorption de solutions salines physiologiques administrées par voie hypodermique dans des cas où l'injection intraveineuse est impossible. L'effet de l'hyaluronidase dure 24 heures.

L'administration de 2,5 unités d'hyaluronidase rend possible l'injection sous-cutanée de milieux de contraste pour l'examen aux rayons X d'organes mous tels que le rein quand l'injection intraveineuse est contre-indiquée ou difficile comme c'est souvent le cas chez l'enfant. En fait les possibilités d'usage de l'hyaluronidase en thérapeutique sont beaucoup plus étendues.

Nous manquons d'information sur la chimie précise des mucopolysaccharides et il serait nécessaire d'accroître nos connaissances sur leurs propriétés biologiques. Les complexes protéines-hydrates de carbone offrent donc un vaste domaine pour la recherche réclamant l'activité de chimistes, de biochimistes et de pathologistes.

Chimie des gommes et mucilages végétaux

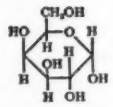
E. L. HIRST

L'auteur indique la provenance des gommes et des mucilages, leur valeur commerciale et leurs fonctions dans l'organisme végétal; puis décrit la méthode expérimentale pour la détermination de la structure chimique de ces polysaccharides, donnant comme exemple la gomme arabique. Il semble qu'ils ont tous un caractère commun: chaîne de *D*-galactose, avec chaînes latérales contenant des radicaux d'autres galactoses, les mucilages étant apparemment plus complexes que les gommes. Seules les grandes lignes de leurs formules structurales ont pu être déterminées.

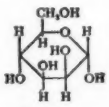
Depuis plusieurs siècles déjà, les hommes ont constaté que par les blessures de leur écorce, certains arbres exsudent des nodules de gommes. Celles-ci sont utilisées depuis longtemps dans les arts et dans l'industrie, pour leur propriété de former des pâtes visqueuses, des agents épaississants et des colles. La collecte et la répartition de ces gommes constituent une branche commerciale importante, c'est ainsi par exemple que les ventes annuelles de la gomme d'Acacia excèdent 20 millions de kg. De même, de grandes quantités de gomme adragante, obtenue à partir des arbustes d'*Astragalus*, de gomme indienne provenant des *Sterculia*, et d'autres gommes sont utilisées dans l'industrie. Leur emploi est très varié: collage, impression et apprêt des textiles, fabrication des papiers, préparation des couleurs à l'eau, fabrication des allumettes, des encres, des préparations pharmaceutiques, et comme ingrédients dans la confiserie. Leurs propriétés physiques et chimiques sont très variées et les recherches qu'on leur a consacrées ont soulevé de nombreux problèmes importants pour le biologiste et le chimiste.

Les mucilages sont très répandus dans le règne végétal: ils donnent de la consistance aux membranes secondaires et se trouvent dans les substances intercellulaires et intracellulaires. On les trouve dans la racine, l'écorce, le cortex, les feuilles, les tiges, les fleurs, l'endosperme et l'enveloppe des graines, ainsi que dans quelques bulbes contenant des cellules spéciales à mucilages. Ils jouent des rôles divers dans la vie de la plante: fréquemment ils servent de réserves mais parfois ils possèdent des fonctions hautement spécialisées. Il est probable, par exemple, que les propriétés physiques de certains mucilages les font utiliser comme réserve d'eau par les plantes qui vivent dans des milieux extrêmement secs; de même les revêtements mucilagineux des graines peuvent jouer un rôle similaire durant la germination.

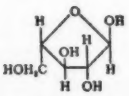
Les mucilages sont des produits normaux du métabolisme et de ce point de vue ils peuvent être opposés aux gommes végétales qui se forment habituellement à la suite d'une blessure accidentelle ou volontaire comme dans l'écorçage de l'Acacia qui favorise l'écoulement de la gomme. La formation de la gomme dans ces conditions a été étudiée en détail: l'amidon et d'autres substances de réserve se transforment en gomme qui exsude alors comme une solution aqueuse mobile. A son tour celle-ci se déssèche, devient solide et dure, et forme alors un revêtement protecteur sur la partie blessée. On a suggéré que la gomme était produite effectivement par des bactéries, mais les preuves en sont faibles et même les résultats des recherches chimiques récentes sont en désaccord avec de telles vues. Les gommes végétales sont en effet si hautement spécifiques dans leur structure chimique que certains chercheurs pensent que la connaissance de la nature chimique de chaque gomme serait suffisante pour identifier l'espèce et peut-être même la variété de la plante mère.



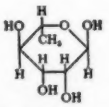
α-*D-Galactose*



α-*D-Mannose*



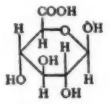
α-*L-Arabofuranose*



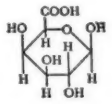
α-*L-Rhamnose*

Du point de vue de leur structure chimique, les gommes et les mucilages végétaux sont des polysaccharides complexes de poids moléculaire élevé, formés en général par la réunion de plusieurs restes de sucres différents. Par exemple la

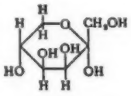
molécule de gomme arabique contient du *D*-galactose, du *L*-rhamnose, du *L*-arabinose et de l'acide *D*-glycuronique. D'autres sucres comme le *D*-xylose et le *D*-mannose se rencontrent fréquemment dans les gommes et les mucilages. L'acide *D*-glycuronique est caractéristique des gommes, dans les mucilages il est remplacé par l'acide *D*-galacturonique, mais, comme dans toute règle, il y a des exceptions. On rencontre parfois des sucres très rares: la gomme de *Sterculia setigera* contient le cétose *D*-tagatose qui ne se trouve dans aucun autre produit naturel connu. La structure de beaucoup de gommes et mucilages est compliquée encore par la présence de dérivés acétylés et méthylés de sucres. Par exemple le mucilage obtenu à partir de l'écorce de l'orme lubrique (*Ulmus fulva*) contient du 3-méthyl-*D*-galactose en plus du *D*-galactose, de l'acide *D*-galacturonique et du *L*-rhamnose.



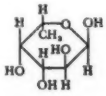
Acide β-*D-Glycuronique*



Acide β-*D-galacturonique*



α-*D-Tagatose*



α-*L-Fucose*

TABLEAU I

Substance	*Sucres présents*
Gomme arabique ..	Glu, G, R, A
Gomme de cerisier ..	Glu, G, M, A, X
Gomme de prunier de Damas	Glu, G, M, A, X
Gomme de prunier «jaune»	Glu, G, A, X
Gomme de *Prosopis juliflora*	Glu, G, A et 4-méthyl glu
Gomme adragante ..	Gal, G, F, A, X
Gomme de *Sterculia setigera*	Gal, G, R, et le *D*-tagatose
Mucilage de graine de lin	Gal, G, R, X
Mucilage de graine de cresson	Gal, G, R, X, A
Mucilages des graines de *Plantago psyllium* et *P. fastigiata*	Gal, A, X
Mucilage de graine de *P. arenaria*	Gal, G, A, X
Mucilage de l'écorce d'*Ulmus fulva*	Gal, G, R, et 3-méthyl-*D*-galactose
Mucilage de *Chondrus crispus*	G et sulfate
Fucoïdine	F et sulfate
Agar-agar	G, L, et sulfate
Laminarine	*D*-glycose
Acide alginique ..	Acide *D*-mannuronique

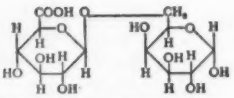
ABREVIATIONS

Glu = Acide *D*-glycuronique
Gal = Acide *D*-galacturonique
G = *D*-Galactopyranose
M = Mannopyranose
R = *L*-Rhamnopyranose
F = *L*-Fucose
A = *L*-Arabofuranose
X = *D*-Xylopyranose
L = Galactose

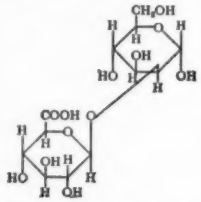
L'étude des gommes et mucilages végétaux nous conduit directement à quelques-uns des problèmes fondamentaux de la chimie des hydrates de carbone: par exemple à la recherche des mécanismes par lesquels les produits primaires de la photosynthèse qui semblent provenir du *D*-glucose, sont transformés en d'autres hexoses (par exemple en *D*-galactose, ou en *D*-mannose), en acides uroniques (acide *D*-glycuronique, acide *D*-galacturonique), en méthyl-pentoses (*L*-rhamnose, *L*-fucose) et en pentoses (*D*-xylose, *L*-arabinose, *D*-ribose). Il est possible qu'une étude structurale détaillée de ces substances jette la lumière sur ces questions difficiles; d'ailleurs quelques pas ont déjà été faits. On sait déjà que la transformation du *D*-galactose en *L*-arabinose ne peut pas se faire dans les molécules polymérisées en dépit des similitudes stéréochimiques étroites de ces sucres; ceci est probablement vrai aussi pour la transformation du *D*-glucose en *D*-xylose [1]. Il reste cependant à déterminer s'il y a transformation enzymatique directe des molécules d'hexoses monomériques en acides uroniques correspondants, puis en pentoses, ou bien si la molécule d'hexose est d'abord brisée en trioses, comme dans la fermentation alcoolique, avec reconstruction postérieure.

On a donc de nombreuses raisons d'étudier la structure de ces substances complexes, d'autant plus qu'elles ont aussi des analogies structurales avec les polysaccharides bactériens qui sont si importants en chimiothérapie. Les problèmes soulevés sont parmi les plus difficiles et les plus complexes de toute la chimie des carbohydrates; par comparaison l'étude de la cellulose et de l'amidon est simple puisque ces polysaccharides, si complexes pourtant, donnent par hydrolyse un seul sucre. Les gommes et les mucilages contiennent usuellement plusieurs radicaux et il est nécessaire de découvrir leur ordre dans la molécule. On rencontre alors les mêmes problèmes qu'en

chimie des protéines. Dans une gomme on peut avoir un hexose, α- ou β-glycoside sous forme cyclique de pyranose ou de furanose qui peut être combiné par l'intermédiaire de ses groupes hydroxyles avec 1, 2, 3, ou 4 autres radicaux. Chaque hexose présente ainsi de nombreuses possibilités structurales et il en est de même pour chaque pentose et chaque acide uronique. Fort heureusement on a trouvé certaines règles qui simplifient le problème de la désignation d'une place et d'une structure pour chaque radical. Mais il n'est pas surprenant que dans aucun cas jusqu'à présent, une formule unique n'ait pu être donnée, bien que pour plusieurs, les grandes lignes structurales soient élucidées.



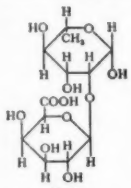
6-β-D-glycuronosido-D-galactose



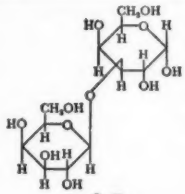
2-β-D-glycuronosido-D-mannose

Pour l'étude structurale des gommes et des mucilages, après un travail préliminaire pour s'assurer de la pureté et de l'homogénéité du matériel étudié, le polysaccharide est hydrolysé par un acide en vue de connaître la nature des sucres constitutifs avec leurs proportions relatives. Dans cette recherche la chromatographie est d'une grande aide aussi bien pour l'étude analytique que pour l'étude quantitative. Fort heureusement la plupart des gommes contiennent des groupements de radicaux qui sont relativement résistants à l'hydrolyse; l'isolement et l'identification de ceux-ci marquent une première étape pour l'établissement de la structure moléculaire. Par exemple l'acide aldobiuronique, 6-β-*D*-glycuronosido-*D*-galactose a été obtenu à partir de la gomme arabique. La gomme de Prunier de Damas et la gomme de Cerisier libèrent le 2-*D*-glycuronosido-*D*-mannose tandis que l'acide aldobiuronique du mucilage de l'orme lubrique et du mucilage de la graine de Lin est le 2-*D*-galacturonosido-*L*-rhamnose. Parfois les disaccharides qui résistent à l'hydrolyse peuvent être isolés et l'on a ainsi quelques éclaircissements sur les liaisons entre radicaux. Par exemple le 3-*D*-galactosido-*D*-galactose et le 3-*D*-galactosido-*L*-arabinose peuvent être isolés tous les deux de la gomme arabique.

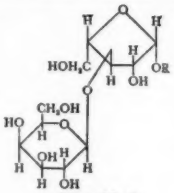
L'arabinose se présente habituellement sous la forme labile de furanose et il peut être facilement



2-β-D-Galacturonosido-L-rhamnose



3-β-D-Galactosido-D-galactose



Glycoside du 3-β-D-galactosido-L-arabofuranose

isolé par hydrolyse ménagée, il reste une gomme dégradée qui est toujours un haut polymère mais néanmoins de structure plus simple. Les radicaux hydroxyles libres de celle-ci peuvent être transformés en éthers méthylés stables par des procédés standards et le polysaccharide entièrement méthylé donne par hydrolyse un mélange complexe de monoses partiellement méthylés qui peuvent être analysés qualitativement et quantitativement par chromatographie. Les radicaux hydroxyles libres de ces sucres sont les points de liaison des divers radicaux dans le polymère, mais les expériences de ce genre ne donnent aucune indication sur l'ordre d'arrangement des radicaux. Un renseignement supplémentaire est obtenu en comparant ces produits d'hydrolyse avec ceux du dérivé méthylé de la gomme originale non dégradée, celui-ci à son tour est complété par les preuves fournies par l'oxydation des polysaccharides par l'acide periodique. Ce réactif attaque les radicaux d'oses contenant des groupes hydroxyles libres sur des atomes de carbone contigus, mais laisse intacts tous ceux qui n'ont aucun radical glycol libre.

$$\text{R.CHOH-CHOH-R}' \rightleftarrows \text{R.CHO} + \text{R}'.\text{CHO}.$$

Avec ces éléments d'information à sa disposition, le chimiste peut alors formuler les principales lignes de la structure moléculaire de la gomme ou du mucilage avec quelque précision, les dimensions absolues de la macromolécule peuvent être recherchées par des méthodes physiques telles que par détermination de la pression osmotique, sédimentation à l'ultra-centrifugeuse, dispersion de la lumière en solution. Si la molécule est longue et de forme régulière, comme par exemple celles des acides alginique et pectique, l'analyse aux rayons X peut donner une information valable.

La gomme arabique qui a été l'objet de nombreux travaux détaillés, peut être citée en exemple de ce qui a été fait en détermination structurale dans ce groupe. On a déjà mentionné que par hydrolyse partielle de cette gomme on peut isoler un acide aldobiuronique et deux disaccharides de structure connue. De plus, des expériences de

méthylation ont montré que la gomme dégradée est formée des résidus suivants:

$$G1 \ldots (1 \text{ mol.}); \ldots 6\,G1 \ldots (5 \text{ mol.});$$

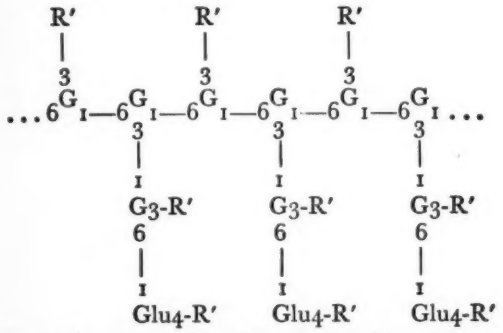
$$\ldots 6G^{1\cdots}_{3\cdots} (3 \text{ mol.}); \text{Glu } 1 \ldots (3 \text{ mol.})$$

(G1 . . . désigne un *D*-galactopyranose lié par son premier atome de C; 6G1, un radical similaire lié par C_1 et C_6, et ainsi de suite. Glu désigne un radical d'acide *D*-glycuronique). Dans la gomme initiale les radicaux présents sont:

$$G1 \ldots; \ldots 6G^{1\cdots}_{3\cdots}; R1 \ldots; A1 \ldots;$$

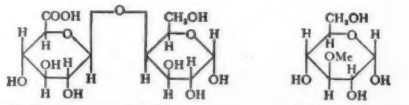
$$A^{1\cdots}_{3\cdots}; \text{Glu } 1 \ldots; \text{Glu } {}^{1\cdots}_{4\cdots}.$$

(R = Radical de *L*-rhamnopyranose et A = *L*-arabofuranose). En partant de ces faits, F. Smith [2] put donner une formule possible pour la gomme arabique; celle-ci, bien que ce ne soit pas la seule possible, montre clairement les lignes structurales principales et les autres variantes possibles n'en diffèrent que dans le détail.



Une des formules possibles de la gomme arabique. G = D-*galactose; Glu = acide* D-*glycuronique; R′* = L-*rhamnose ou* L-*arabofuranose ou* 3-β-D-*galactosido*-L-*arabofuranose.*

On voit que la molécule consiste en une chaîne de radicaux *D*-galactose desquels se détachent de nombreuses chaînes latérales contenant des radicaux d'un autre galactose unis à du rhamnose, de l'arabinose et de l'acide glycuronique. Il est encore trop tôt pour généraliser sur cette question mais nous avons quelques bonnes raisons de penser que cette chaîne de radicaux de galactose est largement répandue. Il semble qu'elle se trouve dans la gomme de Prunier Damas [3] qui est voisine de la gomme arabique par son architecture générale mais qui en diffère par le fait qu'elle contient du *D*-xylose, du *D*-mannose mais pas de *L*-rhamnose. Il y a toutefois d'importantes différences structurales du fait que l'acide aldobiuronique de la gomme de Prunier de Damas (le 2-*D*-glycuronosido-*D*-mannose) possède une liaison 1–2. L'étude de la gomme méthylée a révélé la présence d'au moins 10 sortes de sucres différents et quoique la chaîne principale semble encore être formée de radicaux *D*-galactose, il n'est pas surprenant que la structure moléculaire précise ne soit pas encore connue. La gomme de Cerisier [3] très voisine de la gomme de Prunier de Damas est encore plus complexe. Elle libère le même acide aldobiuronique, mais contient plus de *D*-xylose et de *L*-arabinose. Assez inattendue est la ressemblance structurale de la gomme du Prunier «jaune» [4] avec la gomme arabique; elles donnent toutes deux le même acide aldobiuronique. Une étude préliminaire des gommes du Citronnier et de la Pamplemousse montre que chez celles-ci c'est un autre type d'acide aldobiuronique qui est présent: le 4-*D*-glycuronosido-*D*-galactose, mais la diversité des structures est encore plus démontrée par l'exemple de la gomme de *Prosopis juliflora* [5] qui donne deux de ces acides: le 4-β-*D*-glycuronosido-*D*-galactose et un éther monométhylé du 6-β-*D*-glycuronosido-*D*-galactose.



La gomme adragante, si importante dans l'industrie, est un mélange d'un polysaccharide neutre, probablement un arabanose et d'une substance acide ressemblant aux mucilages qui contient de l'acide *D*-galacturonique au lieu de l'acide glycuronique généralement trouvé dans les gommes. Des expériences de méthylation [6] ont révélé sa structure générale à base de radicaux de

$$F1 \ldots; X1 \ldots; X^{1\cdots}_{2\cdots}; \text{Gal } {}^{1\cdots}_{4\cdots};$$

reliés par plusieurs triples liaisons à des radicaux d'acide galacturonique (F = *L*-fucose, X = *D*-xylose, Gal = acide *D*-galacturonique).

Les mucilages végétaux possèdent des structures moléculaires d'un même type général, mais par commodité on les classe dans 3 groupes principaux: (*a*) les polysaccharides neutres de poids moléculaire élevé, contenant une ou plusieurs sortes de radicaux de sucres mais pas d'acide uronique; (*b*) les polysaccharides acides, ressemblant aux gommes mais renfermant habituellement de l'acide *D*-galacturonique comme radical

acide; (*c*) les polysaccharides fréquents dans les algues de structure complexe, de poids moléculaire élevé, contenant des fonctions esters sulfuriques.

Un grand nombre de ceux-ci ont été isolés, et ils sont d'une importance biologique évidente, mais la structure détaillée de la plupart est mal connue. Dans cet article nous ne pourrons que mentionner brièvement un ou deux exemples typiques. Un des plus simples est le Salep de Mannan obtenu à partir des tubercules d'une *Orchidée*. Il semble que ce soit un polymère linéaire de radicaux mannopyranose liés en 1–4:

$$(\ldots 4\text{—}1M4\text{—}1M4 \ldots)$$

Le mucilage de la graine de Caroube [7] est plus complexe, étant composée des radicaux suivants:

$$G1 \ldots (1 \text{ partie}),\ M^{1\cdots}_{4\cdots}\ (4 \text{ parties}),$$

$$\text{et} \ldots 6M^{1\cdots}_{4\cdots}\ (1 \text{ partie}).$$

Une des structures moléculaires possible pour ce mucilage est la suivante:

$$\ldots \left(4M1\text{—}4M1\text{—}4M1\text{—}4M1\text{—}4M1\right)_x \ldots \quad (G1 \text{ sur } M1 \text{ en } 6)$$

Le mucilage de la graine de Luzerne est aussi constitué de *D*-galactose et de *D*-mannose mais sa structure est encore plus compliquée puisqu'il contient deux types de radicaux de galactose; il diffère de la gomme de caroube en ce qu'il ne contient pas de résidus de mannose liés en 1–4. Dans plusieurs autres mucilages neutres, du *L*-arabinose se trouve en grandes quantités avec le *D*-galactose.

Les mucilages de la classe (*b*) dont quelques-uns ont été étudiés en détail manifestent une complexité encore plus grande, comme nous le prouvent les mucilages des différentes espèces de *Plantago*. Ils contiennent tous des restes d'acide *D*-galacturonique mais montrent de remarquables différences d'une espèce à l'autre dans la structure détaillée. Le mucilage de *P. arenaria* contient du *D*-xylose, du *D*-galactose et du *L*-arabinose; celui de *P. lanceolata* du *D*-galactose, du *L*-rhamnose et du *D*-xylose, tandis que ceux de *P. psyllium* et de *P. fastigiata* contiennent du *L*-arabinose et du *D*-galactose. Des expériences de méthylation entreprises sur les mucilages de *P. lanceolata* et de *P. arenaria* ont révélé une complexité de structure déconcertante, avec des restes de xylose agissant comme des points de ramification dans une molécule très ramifiée [8].

Quelques mucilages de ce groupe, par exemple ceux du Cognassier et de la graine de moutarde blanche se trouvent dans la plante en combinaison avec la cellulose formant un complexe hydrosoluble. Le mucilage de la graine de Lin libère par hydrolyse partielle de l'acide aldobiuronique, le 2-*D*-galacturonosido-*L*-rhamnose, qui se trouve aussi dans la gomme de *Sterculia setigera* et dans le mucilage de l'écorce de l'Orme lubrique (*Ulmus fulva*). Celui-ci a été étudié par méthylation et l'on sait qu'il contient les restes suivants:

$$Gal\ 1 \ldots;\ Gal^{1\cdots}_{4\cdots};\ G1 \ldots;\ G^{1\cdots}_{3\cdots};$$

$$G^{1\cdots}_{4\cdots};\ R^{1\cdots}_{2\cdots};\ R2^{1\cdots}_{3\cdots};$$

en plus de restes de 3-méthyl-galactose, mais on n' a pas encore pu établir sa structure détaillée [9].

Des problèmes de difficulté particulière abondent dans l'étude des mucilages des algues qui contiennent des fonctions esters sulfuriques. Les plus connus contiennent des restes de galactose sulfaté (agar-agar du *Gelidium* et de *Gracilara* sp; mucilage de *Chondrus crispus*) ou des restes de fucose sulfaté (fucoïdine de la *Laminaria* et de *Fucus* sp.) On a de bonnes raisons de supposer que dans le mucilage du *Chondrus crispus* le reste d'acide sulfurique est lié au C_4 du galactose et que la partie essentielle de la structure moléculaire est une chaîne de *D*-galactose lié en 1–3, semblable à celle des gommes végétales [10]. Le mucilage de l'algue *Gigartina stellata* contient probablement une chaîne semblable de galactose avec des chaînes latérales [11]. L'agar-agar contient des restes de *D*-galactose lié en 1–3 mais par hydrolyse cette substance libère aussi du *L*-galactose; de l'agar-agar entièrement méthylé on peut isoler des dérivés du 3–6-anhydro-*L*-galactose. La structure est très complexe et en dépit de recherches intensives aucune formule structurale n'a pu être donnée avec certitude [12].

En dernier exemple, nous prendrons le mucilage intéressant et peu connu appelé laminarine [13] qui se trouve dans *Laminaria* sp. en même temps que l'acide alginique et le mannitol. Il contient seulement des restes de *D*-glucose, quelques-uns étant probablement sulfatés, et il est intéressant de noter qu'ici encore nous rencontrons les liaisons 1–3 qui sont si fréquentes dans les polysaccharides

des algues. Les principaux traits de la structure sont représentés par la formule:

$$\ldots 3G^*1—3G^*1—3G^*1\ldots$$
$$(G^* = D\text{-glycopyranose})$$

Il est remarquable que cette propriété de «viscosité» soit partagée par de si nombreuses substances de structure chimique si différente et jusqu'à présent on ne peut en donner qu'une explication partielle. Une substance hydrosoluble possédant cette propriété doit probablement contenir dans sa molécule des radicaux hydroxyles capables de former des ponts d'hydrogène avec les molécules d'eau, de plus l'agencement géométrique des molécules doit être tel qu'elles ne puissent pas s'aligner rapidement et régulièrement, tout près l'une de l'autre. Quand ceci est possible comme dans le cas des molécules de cellulose filiformes et non ramifiées le pont d'hydrogène intermoléculaire donne naissance à une substance insoluble qui ne peut être dispersée que par un solvant possédant une plus forte affinité pour les radicaux hydroxyles. On sait cependant qu'une modification de l'arrangement géométrique de la cellulose, occasionnée par l'introduction d'un faible pourcentage de groupes de remplacement volumineux, provoque la formation de dérivés cellulosiques hydrosolubles. Nous avons vu que la plupart des gommes et mucilages possèdent des structures très ramifiées, et des radicaux hydroxyles idéalement placés pour retenir les molécules d'eau, et même dans les cas les plus simples cet alignement géométrique compact, avec pont d'hydrogène intermoléculaire, de la cellulose, est impossible. Ainsi les gommes restent fortement hydratées même dans les solutions les plus concentrées. Toutefois il doit y avoir quelques ponts d'hydrogène entre les molécules de gomme elles-mêmes; ceci n'est pas très prononcé en solutions très diluées, mais tend à donner une structure de plus en plus rigide quand l'eau est éliminée. Il est possible qu'une explication des propriétés physiques caractéristiques des gommes et des mucilages réside dans la délicate interférence de ces deux réactions opposées.

BIBLIOGRAPHIE

Article de base: JONES, J. K. N., et SMITH, F. *Adv. in Carbohyd. Chem.*, **4**, 243, 1949.

[1] HIRST, E. L. *J. Chem. Soc.*, 522, 1949.
[2] SMITH, F. *Ibid.*, 1724, 1939; 1035, 1940.
[3] HIRST, E. L., et JONES, J. K. N. *Ibid.*, 506, 1946.
JONES, J. K. N. *Ibid.*, 1055, 1947.
[4] BROWN, F., HIRST, E. L., et JONES, J. K. N. *Ibid.*, 1757, 1949.
[5] WHITE, E. V. *J. Amer. Chem. Soc.*, **69**, 622, 1947; **70**, 367, 1948.
CUNNEEN, J. I., et SMITH, F. *J. Chem. Soc.*, 1146, 1948.
[6] JAMES, S. P., et SMITH, F. *Ibid.*, 749, 1945.
[7] HIRST, E. L., et JONES, J. K. N. *Ibid.*, 1278, 1948.
SMITH, F. *J. Amer. Chem. Soc.*, **70**, 3249, 1948.
[8] PERCIVAL, E. G. V., et WILLOX, I. C. *J. Chem. Soc.*, 1608, 1949.
LAIDLAW, R. A., et PERCIVAL, E. G. V. *Ibid.*, 1600, 1949.
[9] ANDERSON, E. *J. biol. Chem.*, **104**, 163, 1934.
GILL, R. E., HIRST, E. L., et JONES, J. K. N. *J. Chem. Soc.*, 1025, 1946.
[10] BUCHANAN, J., PERCIVAL, E. E., et PERCIVAL, E. G. V. *Ibid.*, 51, 1943.
[11] DEWAR, E. T., et PERCIVAL, E. G. V. *Ibid.*, 1622, 1947.
[12] PERCIVAL, E. G. V., et THOMSON, T. G. H. *Ibid.*, 750, 1942.
JONES, W. G. M., et PEAT, S. *Ibid.*, 225, 1942.
[13] BARRY, V. C. *Sci. Proc. R. Dublin Soc.*, **21**, 615, 1938; *Nature*, **152**, 538, 1943.
DILLON, T. *Nature*, **155**, 546, 1945.
CONNELL, J. J., HIRST, E. L., et PERCIVAL, E. G. V. *J. Chem. Soc.*, 3494, 1950.

Revue des livres

BIOLOGIE

BUTLER, J. A. V. *Man is a Microcosm.* Pp. 151, avec de nombreuses figures et illustrations en demi-teintes. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 10s. 6d.

Le Dr. Butler nous fait ici un admirable exposé, clair, élégant et bien à jour, de l'application moderne des sciences physique et chimique à la vie des êtres et de l'homme, non sans tirer les conclusions qui en découlent touchant notre conception de nous-mêmes. De l'étude chimique des protéines, il passe à celle des enzymes, des vitamines, des hormones, des virus et des gènes et souligne leur rôle dans l'entretien et le contrôle de l'organisme vivant, ainsi que dans le développement et la croissance, dans la reproduction, et dans l'action des muscles, des nerfs et du cerveau. Il apporte d'appréciables éclaircissements à l'analogie à la mode entre le cerveau et une machine à

calculer. Il conclut par un chapitre sur la stature humaine.

L'intention du Dr. Butler est de faire entrevoir à ses lecteurs un peu de la complexité et de l'ingéniosité extrêmes du mécanisme de l'être vivant tel qu'on le comprend actuellement. Il veut aussi redresser l'opinion illogiquement engendrée par la physique du siècle dernier selon laquelle l'homme est un être insignifiant parce qu'il vit sur une planète astronomiquement peu importante, encore moins unique et qui ne représente qu'un point dans l'immensité de l'univers. «L'équilibre se rétablit», dit-il, «lorsqu'on entrevoit la richesse des formes vivantes car l'on sent alors que ce monde est aussi riche par sa diversité que l'autre par son immensité. Notre cadre splendide ne nous écrase plus». Livre sincère et captivant, qui sera utile au chercheur comme au lecteur moyen.

E. F. CALDIN

WAKSMAN, SELMAN A. *The Actinomycetes*. Pp. XVIII + 230, avec 36 demi-teintes et 9 figures. Chronica Botanica Limited, Waltham, Mass. 1950. $5.

Quand le Dr. Waksman isola la série d'antibiotiques du type streptomycine, les actinomycètes acquirent subitement une vogue inattendue. La culture de ces micro-organismes est aujourd'hui une industrie et la connaissance de leur morphologie, de leur classification et de leurs besoins nutritifs a une importance dépassant de beaucoup le cadre académique. Le Dr. Waksman cependant n'insiste pas outre mesure sur la production des antibiotiques, qu'il traite brièvement et avec maîtrise dans les 26 pages du chapitre 7. Les chapitres précédents se partagent l'étude bien répartie de la taxonomie, de la morphologie et du métabolisme du groupe et donnent un compte-rendu plus détaillé de sept espèces choisies. Les 40 pages suivantes résument nos connaissances sur la répartition et le rôle des actinomycètes dans la nature ainsi que leur fonction déterminante dans les maladies animales et végétales.

On note certains petits défauts assez irritants, comme le caractère trop menu des en-têtes de tableaux et le glaçage du papier que la qualité des photos ne justifie pas et qui fatigue les yeux, mais on les oublie vite dans un ouvrage dont chaque page révèle la main d'un connaisseur remarquable des actinomycètes.

R. W. MARSH

CHIMIE

BOOTH, H. S., et MARTIN, D. R. *Boron Trifluoride and its Derivatives*. Pp. 315, avec plusieurs diagrammes linéaires. John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 40s.

L'utilité du trifluorure de bore en chimie organique comme catalyseur dans l'alkylation, la polymérisation et l'isomérisation a récemment accru l'intérêt des chimistes. Sa production commerciale remonte à 1936 et il détient une place bien établie dans la recherche comme dans l'industrie. Les auteurs de cette monographie ont donc réuni et classé toutes les connaissances accumulées sur le trifluorure de bore et ses dérivés depuis sa découverte au début du siècle dernier. Ils traitent de la préparation et des propriétés physiques et chimiques du corps, des composés co-ordonnés, des acides fluoboriques et de leurs sels, et des propriétés catalytiques. Les deux derniers chapitres étudient l'analyse du trifluorure et de ses dérivés, ainsi que son maniement pratique. La bibliographie contient près de mille références dont beaucoup se rapportent à des brevets.

La partie la plus utile du livre porte sur la catalyse par le trifluorure et ses dérivés. L'ordre systématique des renseignements donnés permet au lecteur de se documenter avec facilité sur le sujet choisi. Malheureusement, les auteurs ne font que constater notre manque de compréhension de la structure et du mode d'action des dérivés organiques et dans la plupart des cas se contentent de citer les faits, sans critique, comme on les trouve dans les *Chemical Abstracts*. Ils évitent également d'affronter les difficiles problèmes de nomenclature que soulève la question. Mais, malgré ses défauts, leur œuvre ne manquera pas de renouveler l'intérêt pour cette question. En chimie minérale et physique, comme en chimie organique, nombreux sont les problèmes attendant une élucidation plus approfondie. Un examen si complet de l'état actuel de la question ne peut qu'amorcer de nouveaux progrès.

H. J. EMELÉUS

PAULING, LINUS. *College Chemistry*. Pp. 705, avec deux planches en couleurs et de nombreuses illustrations. W. H. Freeman and Company, San Francisco, California. 1950. 34s.

Livre délicieux, destiné à conduire pas à pas le débutant à une bonne compréhension des principes de chimie générale. Le point de vue est moderne et l'auteur suit dans l'ensemble le plan de son autre livre: *General Chemistry* mais à une allure moins rapide. Il introduit assez tôt la question de la nature des atomes et de la structure moléculaire de la matière et s'en sert pour amener la chimie descriptive et l'étude des principes théoriques. Le choix judicieux et la présentation des sujets couvrant un terrain étendu rendent la lecture et l'assimilation aisées; le texte enseigne véritablement son sujet. A la fin de chaque chapitre se trouve un résumé des idées, faits ou termes nouveaux, suivi des exercices et du questionnaire habituels.

L'impression est bonne et les illustrations abondantes, avec des diagrammes et des dessins en perspective bien faits. L'ouvrage est peut-être plus vaste d'envergure et moins détaillé par endroits que ne le demandent les programmes de certains examens, mais le tableau qu'il offre est si clair et certains points de théorie si bien expliqués qu'on ne peut que le recommander chaudement aux étudiants de tous les degrés.

F. FAIRBROTHER

WATERS, W. A. *Physical Aspects of Organic Chemistry* (quatrième édition). Pp. XII + 539. Routledge and Kegan Paul, Londres. 1950. 35s.

Depuis sa publication il y a une quinzaine d'années, le livre de W. A. Waters n'a rien perdu de sa réputation d'être l'un des meilleurs manuels de chimie organique théorique. Mais il y a eu de grands progrès et les principes de théorie chimique ont maintenant une base plus ferme et mieux établie. La théorie nouvelle des quanta, le concept de résonance, l'établissement de formules moléculaires compliquées et maint autre progrès permettent de se faire maintenant une idée plus nette du mécanisme fondamental de transformation chimique. C'est à la lumière de ces nouvelles idées qu'il faudrait formuler les principes des réactions organiques. La fusion des concepts de chimie organique et physique est difficile à cause de leurs angles différents mais, dans cette quatrième édition refaite en grande partie, le Dr. Waters a pleinement réussi dans la tâche ardue d'offrir un résumé unifié et complet de cette science à tendances multiples en se plaçant au point de vue organique et s'appuyant sur l'aspect historique. Il donne égale importance aux idées nouvelles et aux anciennes et explique

clairement et avec concision les points difficiles de terminologie, source constante de confusion. Les principes de la théorie de la chimie organique moderne sont formulés et appliqués aux types nombreux de réactions de radicaux libres, la catalyse, l'ionisation, les réactions ioniques, la force des acides, l'hydrolyse des éthers et l'éthérification, les réactions de substitution, les changements moléculaire et ionotropique et la réaction des systèmes conjugués. Le livre se termine par deux chapitres sur le comportement de la série aromatique. C'est à la fois un exposé bien à jour et un manuel avancé qui rendra grand service à l'étudiant et au chimiste.

C. E. H. BAWN

HISTOIRE DE LA SCIENCE

DUNSHEATH, PERCY, publié sous la direction de. *A Century of Technology*. Pp. 346, avec 20 illustrations et 5 diagrammes linéaires dans le texte. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1951. 15s.

La science a eu depuis un siècle un retentissement inouï sur la civilisation. Non seulement l'activité de la recherche s'est décuplée mais nous avons appris à utiliser nos découvertes pratiquement et sur une plus grande échelle. C'est une tâche herculéenne que de présenter les progrès technologiques réalisés depuis 1851 et pourtant, dix-huit collaborateurs spécialistes s'y sont attachés sous la direction de Percy Dunsheath dans «Un siècle de technologie». Le résultat de leurs efforts offre une vue générale captivante de ce siècle scientifique et sera d'une valeur inestimable pour tous, chercheurs et techniciens.

Une étude de ce genre ne peut prétendre à être complète. Les progrès de la radio, par exemple, et le nouveau sujet si vivant des fibres synthétiques méritent d'être traités plus amplement. C'est là une critique à laquelle un ouvrage de ce genre échappe difficilement; le cadre en est trop étroit pour l'abondance des matières.

J. G. COOK

PHYSIQUE

CHANDRASEKHAR, S. *Radiative Transfer*. Pp. xiv + 393, avec plusieurs diagrammes linéaires. Clarendon Press, Oxford. 1950. 35s.

Une des questions types du transfert des radiations est le calcul des propriétés de la radiation incidente dans une direction donnée sur une couche réfléchissante, puis réfléchie par diffusion ou transmise. La quantité de radiation diffusée d'une direction dans l'autre varie avec l'angle formé par ces deux directions et avec l'état de polarisation de la radiation. On peut obtenir la solution en résolvant soit (*a*) des équations intégrodifférentielles de transfert, soit (*b*) des équations intégrales, étant l'expression mathématique de principes d'invariants (obtenue en considérant chaque couche comme équivalente à deux couches adjacentes).

M. le Professeur Chandrasekhar est une autorité dans la formulation mathématique de tels problèmes et dans la découverte et le développement de méthodes de solution. Il a déjà exploité les «sommes de Gauss» pour remplacer les intégrales et fait l'étude d'une nouvelle série d'équations intégrales non linéaires. Ce livre reflète largement ses travaux récents qu'il illustre d'applications aux problèmes planétaires et stellaires. L'analogie avec les problèmes de diffusion des neutrons n'est que mentionnée car l'auteur cherche à ne traiter avec unité et exactitude qu'une seule série de problèmes à la fois. Son livre révolutionnera une grande part de la question et fera époque dans son développement.

W. H. MCCREA

HARRISON, G. R., LORD, R. C., et LOOFBOUROW, J. R. *Practical Spectroscopy*. Pp. xiv + 605, avec de nombreux diagrammes linéaires et demi-teintes. Blackie and Son Limited, Londres. 1949. 35s.

En 600 pages nous est offert un tableau complet de la spectroscopie pratique moderne sous presque tous ses aspects. Parmi les nombreuses questions traitées, on compte celle des genres et montages divers de spectrographes, les conditions d'illumination, les caractéristiques des sources lumineuses, la technique photographique, les principes d'intensité quantitative, les méthodes photographique, photoélectrique et bolométrique de mesure, la spectroscopie par l'absorption, celle de l'infra-rouge et de l'ultra-violet dans le vide, le phénomène de Raman et l'interférométrie. Il y a plusieurs chapitres sur l'analyse spectrochimique qualitative et quantitative ainsi que sur la théorie des spectres atomique et moléculaire. Le style est extrêmement clair, si aisé qu'on ne se rend pas compte des véritables difficultés de la question. Les pages sur les spectres d'émission visibles et ultra-violets insistent sur les spectres atomiques mais passent rapidement sur les spectres d'émission moléculaires. La partie traitant des tubes à décharge et des sources d'émission discontinue est assez faible et l'on remarque l'absence des lampes modernes à hydrogène à basse tension. Ce ne sont là, toutefois, que des points de détail et l'ouvrage est dans l'ensemble si complet que la liste des omissions est plus facile à faire que celle de ce qu'il contient. Nous devons cette œuvre de valeur, indispensable même, à l'Institut de Technologie du Massachusetts qui a tant fait pour le progrès de la spectroscopie, et les talents réunis d'un physicien, d'un chimiste et d'un physicien biologiste ont produit un exposé consistant et équilibré de cette vaste question.

A. G. GAYDON

WILKINSON, D. H. *Ionization Chambers and Counters*. Pp. 266, et divers diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres. 1950. 25s.

Ce livre du Dr. Wilkinson constitue une addition de marque à la liste déjà longue des *Cambridge Monographs*. Il s'adresse au spécialiste mais tout physicien nucléaire fera bien de se le procurer car il traite d'une question souvent étudiée dans les périodiques de recherche, mais à laquelle bien peu de livres sont consacrés.

Les quatre premiers chapitres exposent avec lucidité la théorie fondamentale des chambres d'ionisation, des compteurs proportionnels et des compteurs Geiger. Les trois suivants s'étendent sur l'aspect pratique des trois appareils individuellement, tandis que le dernier rend brièvement compte de la statistique, de l'enregistrement et du compte des particules chargées. L'accent est mis dans l'ensemble sur les compteurs proportionnels et ceux de Geiger et l'état actuel de l'aspect théorique de leur mode d'action est remarquablement présenté. On trouve en outre de nombreux conseils pratiques pour leur fonctionnement.

Le livre est d'un style clair avec une certaine tendance à la rigidité. On espère que la seconde édition apportera des additions au chapitre final, déjà excellent. La bibliographie est très étendue et couvre un terrain exceptionnellement vaste.

Le prix du volume excède un peu la moyenne de la série mais cela n'écartera sans doute pas les acheteurs qui seront nombreux.

C. L. SMITH

Notes biographiques sur les collaborateurs

P. W. BRIDGMAN

Est né en 1882 et a fait ses études à l'Université d'Harvard. Est membre de la section de physique de cette université depuis 1908 et occupe la chaire Hollis depuis 1926. Son œuvre expérimentale principale porte sur la mesure de divers effets physiques des pressions hydrostatiques élevées. A écrit aussi sur la thermodynamique et les principes de la physique. Reçut le Prix Nobel de physique en 1946.

T. G. B. OSBORN

Est Professeur de Botanique à l'Université d'Oxford depuis 1937. Est né en 1887 et a étudié à l'Université de Manchester. Y fit des cours de botanique économique de 1908 à 1912 puis devint Professeur de Botanique à l'Université d'Adélaïde et Botaniste expert du gouvernement d'Australie du Sud. De 1928 à 1937 enseigna à l'Université de Sydney.

F. R. HAYES

Est né à Parrsboro, Nouvelle-Ecosse, en 1904. Après avoir obtenu ses diplômes à *Dalhousie University*, il fit un stage à l'Université de Liverpool. Plus tard comme membre de la Fondation Rockefeller, il travailla à la station biologique d'Heligoland et à l'Université de Kiel. Est Professeur de Zoologie à l'Université Dalhousie, Halifax, Nouvelle-Ecosse.

C. C. COFFIN

Né en Nouvelle-Ecosse en 1903, fit ses études aux Universités Dalhousie et McGill. Passa deux ans au laboratoire de recherche des établissements de produits chimiques Shawinigan. Fut adjoint au personnel enseignant de *Dalhousie University* en 1930 où il est maintenant chef de la section de chimie et professeur de recherches chimiques. Fut élu membre de la *Royal Society* canadienne en 1935 et a publié une quarantaine d'articles sur la cinétique chimique, la calorimétrie, les recherches au moyen de substances «traçantes», etc.

F. SHERWOOD TAYLOR

Est né en 1897 et a étudié à Lincoln College, Oxford. En 1940 devint Conservateur intérimaire du Musée d'histoire scientifique à Oxford et en 1950 fut nommé Directeur du Musée des sciences, South Kensington.

P. A. SHEPPARD

Naquit en 1907 et obtint ses titres de physique à l'Université de Bristol en 1927. Fut observateur permanent à l'observatoire de Kew (1929–32). En 1932–3 fit partie de l'Expédition polaire britannique. Météorologiste officiel de 1933 à 1939, il devint chargé de cours de météorologie à l'Université de Londres. En 1950 fut nommé Secrétaire de la *Royal Meteorological Society*.

FLORENCIO BUSTINZA

Est Professeur de Physiologie végétale à l'Université de Madrid. Naquit à Liverpool en 1902. Etudie depuis 1947 les produits antibactériens des lichens. A publié divers ouvrages sur les antibiotiques, en particulier: *De Pasteur a Fleming; La penicilina y los antibióticos antimicrobianos* et *De Koch a Waksman; la estreptomicina y los antibióticos anti-*Mycobacterium.

G. M. WYBURN

Né à Glasgow en 1903, étudia à l'Université de cette ville. Y devint chargé de cours d'anatomie en 1937, occupant la chaire en 1950. A publié des travaux sur des questions d'embryologie et d'endocrinologie reproductive.

P. BACSICH

Né à Szeged (Hongrie) en 1905 et fit ses études à l'Université. Devint en 1936 chargé de cours d'anatomie à l'Université de Birmingham et l'année suivante à Glasgow. A publié des travaux sur certains aspects endocrinologiques et histologiques de la physiologie de la reproduction.

E. L. HIRST

Est né à Preston en 1898; est actuellement Professeur de Chimie organique à l'Université d'Edimbourg. Fit ses études à l'Université de St Andrews, où il enseigna ainsi qu'à Durham, Birmingham, Bristol et Manchester. Ses recherches ont porté surtout sur les hydrates de carbone, vitamine C comprise, et en particulier ces dernières années sur les amidons, les hémicelluloses et les gommes végétales. Il a reçu la médaille Davy de la *Royal Society*.